

#3

PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of

Kazuhiko NAGANO, et al.

Appln. No.: 10/074,258

Group Art Unit: NOT YET ASSIGNED

Confirmation No.: 5060

Examiner: NOT YET ASSIGNED

Filed: February 14, 2002

For: OPTICAL MODELING DEVICE AND EXPOSURE UNIT

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENTS

Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

Submitted herewith are two (2) certified copies of the priority documents on which claims to priority was made under 35 U.S.C. § 119. The Examiner is respectfully requested to acknowledge receipt of said priority documents.

Respectfully submitted,

Darryl Mexic
Registration No. 23,063

SUGHRUE MION, PLLC
2100 Pennsylvania Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20037-3213
Telephone: (202) 293-7060
Facsimile: (202) 293-7860

Enclosures: Japan 2001-040756
Japan 2001-274360

DM/ob

Date: June 3, 2002



日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年 2月16日

出願番号

Application Number:

特願2001-040756

[ST.10/C]:

[JP2001-040756]

出願人
Applicant(s):

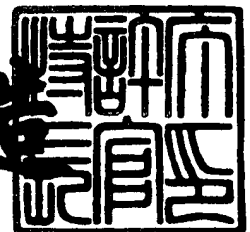
富士写真フイルム株式会社

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2002年 2月 1日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



【書類名】 特許願

【整理番号】 FSP-00794

【提出日】 平成13年 2月16日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B29C 67/00
B29K105/24

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

【氏名】 永野 和彦

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

【氏名】 岡崎 洋二

【特許出願人】

【識別番号】 000005201

【氏名又は名称】 富士写真フイルム株式会社

【代理人】

【識別番号】 100079049

【弁理士】

【氏名又は名称】 中島 淳

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100084995

【弁理士】

【氏名又は名称】 加藤 和詳

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100085279

【弁理士】

【氏名又は名称】 西元 勝一

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100099025

【弁理士】

【氏名又は名称】 福田 浩志

【電話番号】 03-3357-5171

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006839

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9800120

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光造形装置及び露光ユニット

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置であって、

光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光する露光手段と、

該露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる移動手段と、
を備えた光造形装置。

【請求項 2】 光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置であって、

光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光する露光手段と、

該露光手段から出射される光ビームを光硬化性樹脂の表面上で走査させる走査手段と、

を備えた光造形装置。

【請求項 3】 前記露光手段を複数設け、該複数の露光手段の各々を光硬化性樹脂の表面に対し各々独立に相対移動可能にした請求項 1 に記載の光造形装置。

【請求項 4】 前記露光手段を複数設け、該複数の露光手段の各々を光硬化性樹脂の表面に対し各々独立に光ビームを走査し露光可能にした請求項 2 に記載の光造形装置。

【請求項 5】 前記露光手段を、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子と、で構成した請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の光造形装置。

【請求項 6】 前記空間変調素子を、デジタル・マイクロミラー・デバイスで構成した請求項 5 に記載の光造形装置。

【請求項 7】 前記露光手段を、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子を第 1 の走査方向に配列した空間変調素子アレイと、で構成した請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の光造形

装置。

【請求項 8】前記移動手段は、前記空間変調素子アレイが第 1 の走査方向と交差する第 2 の走査方向に移動するように、前記露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる請求項 7 に記載の光造形装置。

【請求項 9】前記空間変調素子が回折格子光バルブである請求項 7 または 8 に記載の光造形装置。

【請求項 10】光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置であって、

光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで走査して露光する露光ユニットを、アレイ状に複数配列した露光手段を備えた光造形装置。

【請求項 11】前記露光ユニットを、光源と、該光源から出射された光ビームを集光する集光光学系と、該集光光学系により集光された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する偏向素子と、で構成した請求項 10 に記載の光造形装置。

【請求項 12】前記光源、前記集光光学系、及び前記偏向素子を、パッケージ内に封止した請求項 11 に記載の光造形装置。

【請求項 13】前記偏向素子を、2 次元マイクロ・スキャナで構成した請求項 11 または 12 に記載の光造形装置。

【請求項 14】前記光源を、窒化ガリウム系半導体レーザ、窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ、赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ、及び窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザのいずれかのレーザ光源で構成した請求項 1 ～ 13 のいずれか 1 項に記載の光造形装置。

【請求項 15】前記光源を、複数のレーザ光源、及び該複数のレーザ光源から出射されたレーザビームを合波する合波光学系を含んで構成した請求項 1 ～ 1

1 3 のいずれか 1 項に記載の光造形装置。

【請求項 1 6】前記レーザ光源を、窒化ガリウム系半導体レーザ、窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ、赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ、及び窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザのいずれかのレーザ光源で構成した請求項 1 5 に記載の光造形装置。

【請求項 1 7】光源と、該光源から出射された光ビームを集光する集光光学系と、該集光光学系により集光された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する偏向素子と、を備えた露光ユニット。

【請求項 1 8】前記光源、前記集光光学系、及び前記偏向素子を、パッケージ内に封止した請求項 1 7 に記載の露光ユニット。

【請求項 1 9】前記偏向素子を、2 次元マイクロ・スキャナで構成した請求項 1 7 または 1 8 に記載の露光ユニット。

【請求項 2 0】前記光源を、窒化ガリウム系半導体レーザ、窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ、赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ、及び窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザのいずれかのレーザ光源で構成した請求項 1 7 ～ 1 9 のいずれか 1 項に記載の露光ユニット。

【請求項 2 1】前記光源を、複数のレーザ光源、及び該複数のレーザ光源から出射されたレーザビームを合波する合波光学系を含んで構成した請求項 1 7 ～ 1 9 のいずれか 1 項に記載の露光ユニット。

【請求項 2 2】前記レーザ光源を、窒化ガリウム系半導体レーザ、窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長

変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ、赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ、及び窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザのいずれかのレーザ光源で構成した請求項 2 1 に記載の露光ユニット。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光造形装置及び露光ユニットに係り、詳しくは、光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置、及びこの光造形装置に好適に使用することができる露光ユニットに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】

近年、3 次元 C A D (Computer Aided Design) システムの普及に伴い、3 次元 C A D によりコンピュータ上の仮想空間に作成された 3 次元形状を、C A D データに基づき光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形システムが利用されている。この光造形システムでは、コンピュータ上で C A D データを所定間隔でスライスして複数の断面データを作成し、各断面データに基づいて液状の光硬化性樹脂の表面をレーザ光で走査して層状に硬化させ、樹脂硬化層を順次積層して 3 次元モデルを造形する。光造形方法としては、上方開放型の槽内に液状の光硬化性樹脂を貯留しておき、光硬化性樹脂の液面近くに配置した造形テーブルを樹脂の自由液面から順次沈下させながら樹脂硬化層を積層する自由液面法が広く知られている。

【0 0 0 3】

従来、この光造形システムに使用される光造形装置には、「丸谷洋二：光造形システムの基礎・現状・問題点、型技術、第 7 巻第 1 0 号、p p 1 8 - 2 3, 1 9 9 2」に示されるように、レーザプロッタ方式により走査を行うものと可動ミラー方式により走査を行うものとがあった。

【 0 0 0 4 】

レーザプロッタ方式による光造形装置を図 1 8 に示す。この装置では、レーザ光源 2 5 0 から発振されたレーザ光は、シャッタ 2 5 2 を備えた光ファイバ 2 5 4 を通って X Y プロッタ 2 5 6 に到達し、X Y プロッタ 2 5 6 から容器 2 6 0 内の光硬化性樹脂 2 6 2 の液面 2 6 6 に照射される。また、X 位置決め機構 2 5 8 a と Y 位置決め機構 2 5 8 b とを備えた X Y 位置決め機構 2 5 8 により、X Y プロッタ 2 5 6 の X 方向、Y 方向の位置が制御される。従って、X Y プロッタ 2 5 6 を X 方向、Y 方向に移動させながら、シャッタ 2 5 2 により X Y プロッタ 2 5 6 から照射されるレーザ光を断面データに応じてオンオフ制御することで、液面 2 6 6 の所定部分の光硬化性樹脂 2 6 2 を硬化させることができる。

【 0 0 0 5 】

しかしながら、レーザプロッタ方式による光造形装置では、シャッタ速度やプロッタの移動速度には限界があり、造形に長時間を要する、という問題がある。

【 0 0 0 6 】

次に、従来のガルバノメータ・ミラーを用いた可動ミラー方式による光造形装置を図 1 9 に示す。この装置では、レーザ光 2 7 0 は、X 軸回転ミラー 2 7 2、Y 軸回転ミラー 2 7 4 に反射されて光硬化性樹脂 2 6 2 に照射される。X 軸回転ミラー 2 7 2 は Z 軸を回転軸として回転することで照射位置の X 方向の位置を、Y 軸回転ミラー 2 7 4 は X 軸を回転軸として回転することで照射位置の Y 方向の位置を制御する。この可動ミラー方式では、レーザプロッタ方式に比べ走査速度を上げることができる。

【 0 0 0 7 】

しかしながら、可動ミラー方式による光造形装置においても、微小なレーザスポットで走査するために、例えば $2 \sim 12 \text{ m/s}$ の高速走査を行っても、10 立方センチメートル程度の 3 次元モデルの造形に 8 ～ 24 時間もの時間を要する等、造形に長時間を要している。また、レーザ光 2 7 0 は、Y 軸回転ミラー 2 7 4 に所定範囲の角度で入射した場合にしか反射されないため照射領域が限定される。そこで、照射領域を広げるために Y 軸回転ミラー 2 7 4 を光硬化性樹脂 2 6 2 から離れた高い位置に配置すると、レーザスポットの径が大きくなって位置決め

精度が悪くなり、造形精度が低下する、という問題がある。また、Y軸回転ミラー274の回転角度を大きくした場合にも、照射範囲は拡大するが、同様に位置決め精度が悪くなり、ピン・クッション・エラーが増加する。更に、ガルバノメータ・ミラーを用いた光造形装置には、歪み補正や光軸調整などの光学系の調整が複雑である、光学系が複雑で装置全体が大型化する、といった問題もある。

【0008】

また、いずれの方式による光造形装置においても、レーザ光源としては高出力の紫外線レーザ光源が使用され、従来はエキシマレーザ等のガスレーザが一般的であったが、ガスレーザはガスの充填等のメンテナンスが面倒であることに加え、高価であり光造形装置の価格を引き上げ、冷却用チラー等の付帯設備が必要で装置全体が大型化する。この問題に鑑み、特開平11-138645号公報には、単一のピクセルより大きなサイズのスポットで露光領域を照射することができる光源を複数備え、複数の光源によりピクセルを多重露光する光造形装置が提案されている。この装置では、複数の光源によりピクセルを多重露光するので、個々の光源の出力は小さくてもよい、安価な発光ダイオード（LED）を光源として使用することができる。

【0009】

しかしながら、特開平11-138645号公報に記載の光造形装置では、各光源のスポットサイズは単一のピクセルより大きいため、高精細な造形には使用できず、また、複数の光源によってピクセルを多重露光するため動作に無駄が多く、造形に長時間を要する、という問題もある。また、光源の数が増えることで露光部が大型化する、という問題もある。更に、LEDの出力光量で多重露光しても、十分な分解能が得られない虞もある。

【0010】

本発明は上記従来技術の問題点に鑑み成されたものであり、本発明の目的は、高速且つ高精細な造形を可能とする光造形装置を提供することにある。本発明の他の目的は、従来に比べて小型化されており、露光手段に多数配列することができる露光ユニットを提供することにある。本発明の更に他の目的は、安価な光造形装置及び露光ユニットを提供することにある。

【 0 0 1 1 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は、光硬化性樹脂を光ビームで露光して3次元モデルを造形する光造形装置であって、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光する露光手段と、該露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる移動手段と、を備えたことを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

前記光造形装置では、露光手段が、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光するので、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を同時に硬化させることができ、高速造形が可能となる。そして、移動手段がこの露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させることができるので、露光手段により同時に露光される所定領域の面積を制限して、空間分解能を向上させることができ、高精細な造形が可能となる。

【 0 0 1 3 】

上記の光造形装置において、露光手段を複数設け、複数の露光手段の各々を光硬化性樹脂の表面に対し各々独立に相対移動可能とすることにより、更に造形の高速化を図ることができる。

【 0 0 1 4 】

本発明の光造形装置は、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光する露光手段と、該露光手段から出射される光ビームを光硬化性樹脂の表面上で走査させる走査手段と、を備えるように構成してもよい。この光造形装置では、走査手段により露光手段から出射される光ビームを光硬化性樹脂の表面上で走査させることができるので、露光手段により同時に露光される所定領域の面積を制限して、空間分解能を向上させることができ、高精細な造形が可能となる。この光造形装置においても、露光手段を複数設け、複数の露光手段の各々を光硬化性樹脂の表面に対し各々独立に光ビームを走査し露光可能とすることにより、更に造形の

高速化を図ることができる。

【 0 0 1 5 】

また、露光手段は、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子と、で構成することができる。空間変調素子は、例えば、デジタル・マイクロミラー・デバイス、または回折格子光バルブ（GLV：Grating Light Valve）で構成することができる。なお、GLVの詳細については米国特許第 5 3 1 1 3 6 0 号に記載されている。

また、露光手段を、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子を第 1 の走査方向（例えば、主走査方向）に配列した空間変調素子アレイと、で構成してもよい。この場合、移動手段は、空間変調素子アレイが第 1 の走査方向と交差する第 2 の走査方向（例えば、副走査方向）に移動するように、露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる。また、空間変調素子アレイが主走査方向に走査し、可動ミラー（スキャナミラー）で副走査方向に露光してもよい。上記の空間変調素子アレイを構成する空間変調素子としては、回折格子光バルブを用いることができる。

【 0 0 1 6 】

本発明の光造形装置は、光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置であって、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで走査して露光する露光ユニットを、アレイ状に複数配列した露光手段を備えたことを特徴とする光造形装置であってもよい。

【 0 0 1 7 】

前記光造形装置では、露光手段にアレイ状に配列された複数の露光ユニットの各々が、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで走査して露光するので、高速且つ高精細な造形が可能となる。

【 0 0 1 8 】

上記の光造形装置においては、露光ユニットは、光源と、該光源から出射された光ビームを集光する集光光学系と、該集光光学系により集光された光ビームを

画像データに応じて各画素毎に変調する偏向素子と、を含んで構成することができる。この露光ユニットは、画像データに応じて各画素毎に変調する偏向素子を用いることにより、従来の2枚組の可動ミラーを用いる場合に比べて小型化されている。このため露光手段に多数の露光ユニットを配列することが可能であり、更に高速且つ高精細な造形が可能となると共に、露光ユニット当りの露光領域が小さくなるので、ピン・クッション・エラーを略解消することができる。また、この露光ユニットは、光源、集光光学系、及び偏向素子が、パッケージ内に封止されている形態とすることができる。偏向素子としては、例えば、2次元マイクロ・スキャナを用いることができる。

【 0 0 1 9 】

光源としては、下記のレーザ光源を用いることができる。これらのレーザ光源を使用することにより、高価なガスレーザを使用する必要がなくなり、安価な光造形装置及び露光ユニットを提供することができる。

【 0 0 2 0 】

(1) 窒化ガリウム系半導体レーザ。なお、ブロードエリアの発光領域を有する窒化ガリウム系半導体レーザを用いると、紫外領域の光が高出力で得られ、高速での走査に有利になる。窒化ガリウム系半導体レーザは、半導体層積層方向に垂直な方向に複数のレーザ発振領域が設けられた（アレイ状に配置された）半導体レーザでもよく、半導体層積層方向に複数のレーザ発振領域が設けられた（スタックされた）半導体レーザでもよい。また、これらの半導体レーザを合波して用いてもよい。

【 0 0 2 1 】

(2) 窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ。例えば、希土類元素イオンとして少なくとも Pr^{3+} が添加された固体レーザ結晶、該固体レーザ結晶を励起するレーザビームを出射する窒化ガリウム系半導体レーザ、及び前記固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを紫外領域の光に波長変換する光波長変換素子を備えた半導体レーザ励起固体レーザである。

【 0 0 2 2 】

Pr^{3+} が添加された固体レーザー結晶は、 Ga N 系半導体レーザーにより励起されて、 $700 \sim 800 \text{ nm}$ の波長帯で効率良く発振する。つまり、例えば ${}^3\text{P}_0 \rightarrow {}^3\text{F}_4$ の遷移によって、 Pr^{3+} の発振ラインである波長 720 nm の赤外域の固体レーザービームを効率良く発振させるので、この固体レーザービームを光波長変換素子により第2高調波に波長変換すれば、波長 360 nm の高強度の紫外光を得ることができる。また、第3高調波を発生させる場合のように構成が複雑化することがなく、低コストの半導体レーザー励起固体レーザーが実現される。

【0023】

(3) 窒化ガリウム系半導体レーザーでファイバを励起して得られたレーザービームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザー。例えば、 Er^{3+} 、 Ho^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Eu^{3+} 、 Sn^{3+} 、 Sm^{3+} 、及び Nd^{3+} のうちの少なくとも1つと Pr^{3+} とが共ドーピングされたコアを持つファイバ、該ファイバを励起するレーザービームを出射する窒化ガリウム系半導体レーザー、及び前記ファイバを励起して得られたレーザービームを紫外領域の光に波長変換する光波長変換素子を備えたファイバレーザーである。

【0024】

Er^{3+} 、 Ho^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Eu^{3+} 、 Sn^{3+} 、 Sm^{3+} 、及び Nd^{3+} は、波長 $380 \sim 430 \text{ nm}$ に吸収帯があり、 Ga N 系半導体レーザーによって励起され得る。そして、励起された電子を Pr^{3+} の励起準位（例えば ${}^3\text{P}_0 \rightarrow {}^3\text{P}_1$ ）にエネルギー移動し、下準位に落とすことにより、 Pr^{3+} の発振ラインである青、緑、赤色領域の発振が可能となる。波長 $380 \sim 430 \text{ nm}$ は Ga N 系半導体レーザーが比較的発振しやすい波長帯であり、特に波長 $400 \sim 410 \text{ nm}$ は、現在提供されている Ga N 系半導体レーザーの最大出力が得られる波長帯であるので、 Er^{3+} 、 Ho^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Eu^{3+} 、 Sn^{3+} 、 Sm^{3+} 、及び Nd^{3+} を Ga N 系半導体レーザーによって励起すれば、励起光の吸収量が大きくなり、高効率化および高出力化が達成される。また、光学部品が少なく、簡潔な構成となり、損失が低減され、温度安定領域も広がる。

【0025】

なお、励起光源である Ga N 系半導体レーザーとしては、単一縦、横モード型の

ものを使用できることは勿論、その他ブロードエリア型、フェーズドアレー型、あるいはMOPA型の高出力タイプのものを1個または複数個使用することもできる。また、ファイバレーザを励起光源とすることもできる。このように高出力な励起光源を用いることにより、更なる高出力、例えばW（ワット）クラスの高出力を得ることも可能である。

【0026】

（4）赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ。例えば、Nd³⁺ドープ、Yb³⁺ドープ、またはEr³⁺とYb³⁺とが共ドープされたコアを持つファイバ、該ファイバを励起する赤外領域のレーザビームを出射する半導体レーザ、及び前記ファイバを励起して得られたレーザビームを紫外領域の光に波長変換する光波長変換素子を備えたファイバレーザまたはファイバアンプである。光波長変換素子としては、THG（第3高調波発生）素子、FHG（第4高調波発生）素子を用いることができる。

【0027】

また、光源は、複数のレーザ光源、及び該複数のレーザ光源から出射されたレーザビームを合波する合波光学系を含んで構成されていてもよく、レーザ光源としては、上記（1）～（4）のレーザ光源を用いることができる。合波光学系を用いて複数のレーザ光源から出射されたレーザビームを合波することにより、光源の高出力化を図ることができる。

【0028】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

（第1の実施の形態）

本発明の第1の実施の形態に係る光造形装置は、図1に示すように、上方に開口した容器10を備えており、容器10内には液状の光硬化性樹脂12が収容されている。容器10に収容された光硬化性樹脂12の表面上方には、樹脂表面の複数画素を含む所定面積の領域16を光ビーム14で露光する露光ユニット18が配置されている。露光ユニット18は、XY位置決め機構20により、樹脂表

面に対して水平方向（X Y 方向）に移動可能とされている。

【 0 0 2 9 】

X Y 位置決め機構 2 0 は、露光ユニット 1 8 を固定する固定台 2 0 a、固定台 2 0 a を X 方向に移動可能に支持する支持体 2 0 b、及び支持体 2 0 b を固定台 2 0 a と共に Y 方向に移動可能に支持する支持体 2 0 c から構成されている。そして、固定台 2 0 a が支持体 2 0 b 上を X 方向にスライドすることにより露光ユニット 1 8 が X 方向に移動されて、露光ユニット 1 8 の X 方向の位置が決められ、支持体 2 0 b が支持体 2 0 c 上を Y 方向にスライドすることにより露光ユニット 1 8 が Y 方向に移動されて、露光ユニット 1 8 の Y 方向の位置が決められる。固定台 2 0 a 及び支持体 2 0 b をスライドさせる機構としては、ラックアンドピニオン、ボールねじ等がある。

【 0 0 3 0 】

露光ユニット 1 8 は、図 1 及び図 2 に示すように、例えば約 1 W の紫外光源 2 2 から、例えばコア径約 5 0 ～ 2 0 0 μm の光ファイバ 2 4 を介して入射された光ビーム 1 4 を平行光化すると共に、その波形を整形して光軸に垂直な面内での強度分布を矩形状に変換する整形光学系としてのホモジナイザ 2 6、ホモジナイザ 2 6 から入射された光ビームを例えば約 1 0 0 万画素の画像データに応じて各画素毎に変調するデジタル・マイクロミラー・デバイス（DMD）2 8、DMD 2 8 から入射された光ビームを集光する集光レンズ 3 0、及び集光レンズ 3 0 を透過した光ビームを光硬化性樹脂 1 2 の表面の方向に反射する固定配置された反射ミラー 3 2 を備えている。

【 0 0 3 1 】

なお、X Y 位置決め機構 2 0、紫外光源 2 2 及び DMD 2 8 は、これらを制御するコントローラ（図示せず）に接続されている。

【 0 0 3 2 】

紫外光源 2 2 は、図 3 に示すように、例えば 8 個のマルチモード窒化ガリウム（G a N）系半導体レーザ LD 1、LD 2、LD 3、LD 4、LD 5、LD 6、LD 7 および LD 8 と、合波光学系 3 4 とから構成されている。G a N 系半導体レーザ LD 1 ～ LD 8 の発振波長は、発振可能な 3 9 0 ～ 4 1 0 n m の範囲内で

、高出力発振可能な波長が選択され、例えば、395 nm、396 nm、397 nm、398 nm、399 nm、400 nm、401 nm、402 nmと1 nm ずつ異なる波長とされている。なお、このときの各レーザの出力は全て共通の200 mWである。

【0033】

GaN系半導体レーザLD1～LD8の各々に対応して、各々から出射する発散光状態のレーザビームB1～B8を平行光化するコリメートレンズC1～C8が設けられている。

【0034】

合波光学系34は、平行平板プリズム36と、その一方の表面36aに貼着された狭帯域バントパスフィルタF3、F5およびF7と、平行平板プリズム36の他方の表面36bに貼着された狭帯域バンドパスフィルタF2、F4、F6およびF8とから構成されている。これらの狭帯域バントパスフィルタF2～F8は各々、平行平板プリズム36の表面36aと粘着された粘着面から入射される光を例えば反射率98%で反射し、且つ粘着面と反対側から入射される所定波長域の光を例えば透過率90%で透過するように形成されている。図4には、これらの狭帯域バントパスフィルタF2～F8の透過スペクトルを、後述する狭帯域バントパスフィルタF1の透過スペクトルと併せて示してある。

【0035】

GaN系半導体レーザLD1～LD8の各々は、各々から出射したレーザビームB1～B8が狭帯域バントパスフィルタF2～F8に対して5°の入射角で入射するように配設されており、各GaN系半導体レーザLD1～LD8から出射した波長395 nm、396 nm、397 nm、398 nm、399 nm、400 nm、401 nm、402 nmのレーザビームB1～B8は、平行平板プリズム36に入射した後、狭帯域バントパスフィルタF2～F8で反射されながら1本に合波され、波長多重された高出力（例えば、約1 W）のレーザビームBが平行平板プリズム36から出射することになる。

【0036】

DMD28は、図5に示すように、SRAMセル（メモリセル）38上に、微

小ミラー（マイクロミラー）40が支柱により支持されて配置されたものであり、多数の（数10万個から数100万個）の微小ミラーであるピクセルを格子状に配列して構成されたミラーデバイスである。各ピクセルには、最上部に支柱に支えられたマイクロミラー40が設けられており、マイクロミラー40の表面にはアルミニウムが蒸着されている。なお、マイクロミラー40の反射率は90%以上である。また、マイクロミラー40の直下には、ヒンジ及びヨークを含む支柱を介して通常の半導体メモリの製造ラインで製造されるシリコンゲートのCMOSのSRAMセル38が配置されており、全体はモノリシック（一体型）に構成されている。

【0037】

DMD28のSRAMセル38にデジタル信号が書き込まれると、支柱に支えられたマイクロミラー40が、対角線を中心としてDMD28が配置された基板側に対して $\pm\alpha$ 度（例えば ± 10 度）の範囲で傾けられる。図6（A）は、マイクロミラー40がオン状態である $+\alpha$ 度に傾いた状態を示し、図6（B）は、マイクロミラー40がオフ状態である $-\alpha$ 度に傾いた状態を示す。従って、画像信号に応じて、DMD28の各ピクセルにおけるマイクロミラー40の傾きを、図5に示すように制御することによって、DMD28に入射された光はそれぞれのマイクロミラー40の傾き方向へ反射される。なお、図5には、DMD28の一部を拡大し、マイクロミラー40が $+\alpha$ 度又は $-\alpha$ 度に制御されている状態の一例を示す。それぞれのマイクロミラー40のオンオフ制御は、DMD28に接続されたコントローラ（図示せず）によって行われる。なお、オフ状態のマイクロミラー40により光ビームが反射される方向には、光吸収体（図示せず）が配置されている。

【0038】

次に、以上説明した光造形装置の動作について説明する。コントローラ（図示せず）によりXY位置決め機構20が駆動されて、露光ユニット18がX方向及びY方向に移動されて、露光ユニット18のX方向及びY方向の第1の位置が決定される。露光ユニット18の第1の位置が決定されると、紫外光源22から光ビームが出射され、露光ユニット18の第1の位置に応じた所定面積の領域16

の画像データがDMD 28のコントローラ（図示せず）に送信される。DMD 28のマイクロミラー40は、受信した画像データに応じてオンオフ制御される。

【0039】

紫外光源22から出射された光ビーム14は、光ファイバ24を介してホモジナイザ26に入射され、ホモジナイザ26により平行光化されると共に、その波形が整形され光軸に垂直な面内での強度分布が矩形状に変換されて、DMD 28へ入射される。ホモジナイザ26から入射された光ビーム14は、DMD 28のマイクロミラー40がオン状態の場合には反射ミラー32の方向に、マイクロミラー40がオフ状態の場合には光吸収体（図示せず）の方向にそれぞれ反射される。即ち、DMD 28へ入射された光ビーム14は、画像データに応じて各画素毎に変調される。反射ミラー32の方向に反射された光ビーム14は、集光レンズ30により集光され、集光された光ビーム14が反射ミラー32により光硬化性樹脂12の表面の方向に反射される。これにより、光硬化性樹脂12表面の所定面積の領域16内が光ビーム14で露光され、領域16内の光ビーム14で露光された部分が硬化する。

【0040】

第1の位置での所定面積の領域16の露光が完了すると、XY位置決め機構20により、露光ユニット18がX方向、Y方向に移動されて、露光ユニット18のX方向及びY方向の第2の位置が決定され、上記と同様にして、第2の位置に対応する所定面積の領域16が露光される。このように、露光ユニット18の移動と露光とを繰り返すことにより、光硬化性樹脂12の表面全体を露光することができる。

【0041】

例えば、光硬化性樹脂12の表面上での光ビームのスポット径を $50\mu\text{m}$ とすると、100万（ 1000×1000 ）画素のDMD 28を備えた露光ユニット18を用いた場合には、面積 $50\text{mm}\times 50\text{mm}$ の領域16を同時に露光することができる。この場合、光硬化性樹脂12表面の露光総面積が $500\text{mm}\times 500\text{mm}$ であるとする、露光ユニット18の位置をずらしながら100回に分けて露光することにより、表面全体を露光することができる。

【 0 0 4 2 】

以上の通り、本実施の形態に係る光造形装置では、露光ユニットはDMDを備えているので、所定面積の領域を同時に露光することができ、高速での造形が可能となる。また、露光ユニットはXY位置決め機構により移動可能とされており、露光ユニットの位置をずらしながら複数回に分けて全体を露光することができるので、1つの露光ユニットで同時に露光する領域の面積を制限して、空間分解能を向上させることができ、高精細な造形が可能となる。

【 0 0 4 3 】

また、複数のGa_{0.49}N_{0.51}系半導体レーザと合波光学系とから構成された紫外光源は、高出力が得られると同時に低コストであり、光造形装置全体の製造コストも低減することができる。特に、エキシマレーザ等のガスレーザを使用している従来の光造形装置と比較した場合には、安価で、メンテナンスが容易となり、装置全体が小型化する、という利点がある。

【 0 0 4 4 】

また、露光ユニットの外に紫外光源を配置し、露光ユニットと紫外光源とを光ファイバで結合したことにより、露光ユニットを軽量化することができ、XY位置決め機構に掛かる負荷が軽減されて、露光ユニットを高速移動させることができる。

【 0 0 4 5 】

なお、上記では、紫外光源を、複数のGa_{0.49}N_{0.51}系半導体レーザと合波光学系とで構成した紫外レーザ光源とする例について説明したが、紫外光源を、以下の(1)～(5)のいずれかで構成してもよい。

(1) 窒化ガリウム系半導体レーザ。好ましくは、ブロードエリアの発光領域を有する窒化ガリウム系半導体レーザ。

(2) 窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ。

(3) 窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザ。

(4) 赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレー

ザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ。

(5) 上記(1)～(4)のいずれかのレーザ光源またはランプ光源と合波光学系とで構成された紫外光源。

【0046】

図7に、上記(1)のブロードエリアの発光領域を有するGaN系半導体レーザの積層構造の一例を示す。この積層構造のGaN系半導体レーザでは、n型GaN(0001)基板100上には、n型 $\text{Ga}_{1-z_1}\text{Al}_{z_1}\text{N}$ /GaN超格子クラッド層102($0.05 < z_1 < 1$)、n型またはi型GaN光導波層104、 $\text{In}_{1-z_2}\text{Ga}_{z_2}\text{N}$ (Siドープ)/ $\text{In}_{1-z_3}\text{Ga}_{z_3}\text{N}$ 多重量子井戸活性層106($0.01 < z_2 < 0.05$ 、 $0.1 < z_3 < 0.3$)、p型 $\text{Ga}_{0.8}\text{Al}_{0.2}\text{N}$ キャリアブロッキング層108、n型またはi型GaN光導波層110、p型 $\text{Ga}_{1-z_1}\text{Al}_{z_1}\text{N}$ /GaN超格子クラッド層112、及びp型GaNコンタクト層114が順次積層されている。p型GaNコンタクト層114上には、幅500 μm 程度のストライプ領域を除いて絶縁膜116が形成され、ストライプ領域にはp側電極118が形成されている。また、n型GaN(0001)基板100の裏面には、n側電極120が形成されている。なお、この半導体レーザの発振波長帯は440nmであり、発光領域幅が500 μm であるので、得られる出力は10W程度であり、電気-光変効率は8%～50%である。

【0047】

図8に、上記(2)の窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザの一例を示す。この半導体レーザ励起固体レーザは、励起光としてのレーザビーム121を発する半導体レーザ122、発散光である上記レーザビーム121を集光する集光レンズ124、 Pr^{3+} がドープされた固体レーザ媒質である LiYF_4 結晶(以下、Pr:YLF結晶と称する)126、このPr:YLF結晶126の光出射側に配置された共振器ミラー128、Pr:YLF結晶126と共振器ミラー128との間に配置された光波長変換素子130、及びエタロン132を備えている。

【 0 0 4 8 】

光波長変換素子 1 3 0 は、非線形光学材料である、M g O がドーブされた L i N b O₃ 結晶に周期ドメイン反転構造が設けられて構成されている。周期ドメイン反転構造の周期は、例えば、基本波波長を 7 2 0 n m、第 2 高調波の波長を 3 6 0 n m とした場合、これらの波長に対して 1 次の周期となるように 1 . 6 5 μ m とされている。また、波長選択素子としてのエタロン 1 3 2 は、固体レーザを単一縦モード発振させて低ノイズ化を実現する。

【 0 0 4 9 】

半導体レーザ 1 2 2 としては、例えば、I n G a N 活性層を有し、波長 4 5 0 n m で発振するブロードエリア型のものを用いることができる。また、P r : Y L F 結晶 1 2 6 の光入射側の端面 1 2 6 a には、波長 4 5 0 n m の光は 8 0 % 以上の透過率で良好に透過させる一方、P r³⁺ の 1 つの発振線である波長 7 2 0 n m に対して高反射率で、7 2 0 n m 以外の P r³⁺ の発振線 4 0 0 ~ 6 5 0 n m および 8 0 0 n m 以上に対しては低反射率のコーティングが施されている。また、P r : Y L F 結晶 1 2 6 の光出射側の端面 1 2 6 b には、波長 7 2 0 n m に対して低反射率で、その第 2 高調波波長 3 6 0 n m に対しては高反射率のコーティングが施されている。一方、共振器ミラー 1 2 8 のミラー面 1 2 8 a には、波長 7 2 0 n m の光に対して高反射率で、波長 3 6 0 n m の光を 9 5 % 以上透過させ、上記 4 9 0 ~ 6 5 0 n m および 8 0 0 n m 以上の光に対しては低反射率のコーティングが施されている。

【 0 0 5 0 】

この半導体レーザ励起固体レーザでは、半導体レーザ 1 2 2 から出射された波長 4 5 0 n m のレーザビーム 1 2 1 は、上記端面 1 2 6 a を透過して P r : Y L F 結晶 1 2 6 に入射する。P r : Y L F 結晶 1 2 6 はこのレーザビーム 1 2 1 によって P r³⁺ が励起されることにより、波長 7 2 0 n m の光を発する。このときの準移は $^3P_0 \rightarrow ^3F_4$ と考えられる。そして、P r : Y L F 結晶 1 2 6 の端面 1 2 6 a と共振器ミラー 1 2 8 のミラー面 1 2 8 a とで構成される共振器によりレーザ発振が引き起こされて、波長 7 2 0 n m の固体レーザビーム 1 2 3 が得られる。このレーザビーム 1 2 3 は光波長変換素子 1 3 0 に入射して、波長が 1 / 2 す

なわち 360 nm の第 2 高調波 125 に変換される。共振器ミラー 128 のミラー面 128a には、前述の通りのコーティングが施されているので、共振器ミラー 128 からは、略、波長 360 nm の第 2 高調波 125 のみが出射する。

【0051】

図 9 に、上記 (4) の赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザの一例を示す。このファイバレーザは、THG (第 3 高調波発生) ファイバレーザであり、波長 1064 nm のレーザビーム 133 を出射する Q スイッチ YVO₄ 固体レーザ 134、発散光である上記レーザビーム 133 を平行光化するコリメートレンズ 136、平行光となったレーザビーム 133 を集光する集光レンズ 138、コリメートレンズ 136 と集光レンズ 138 との間に配置されたハーフミラー 142、Nd³⁺ がドーブされたコアを持つファイバ 140、ファイバ 140 から出射されたレーザビーム 133 を集光する集光レンズ 154、及び集光されたレーザビーム 133 を入射させて波長変換波を得る波長変換部 156 を備えている。

【0052】

波長変換部 156 は、入射されたレーザビーム 133 を 1/2 の波長 (532 nm) のレーザビームに変換する SHG (第 2 高調波発生) 素子 158、及び入射されたレーザビーム 133 を 1/3 の波長 (355 nm) のレーザビームに変換する THG (第 3 高調波発生) 素子 160 から構成されている。SHG 素子 156 及び THG 素子 158 は、非線形光学材料である、MgO がドーブされた LiNbO₃ に周期ドメイン反転構造が設けられて構成されたバルク型波長変換結晶である。

【0053】

ハーフミラー 142 の反射光入射側には (図中、ハーフミラー 142 の下方) には、波長 809 nm のレーザビーム 135 を出射する半導体レーザ 144 が配置されている。ハーフミラー 142 と半導体レーザ 144 との間にはコリメートレンズ 146 が配置されている。

【0054】

図9に示すように、ファイバ140において、レーザビーム133は、同じ波長1064nmの蛍光からエネルギーを受けて増幅され、ファイバ140の出射端面140bから出射される。出射された波長1064nmのレーザビーム133は、集光レンズ154で集光され、波長変換部156に入射され、入射されたレーザビーム133は、波長変換部156において、第3高調波である355nmのレーザビーム137に変換されて出射される。なお、このTHGファイバレーザでは、5Wの出力を得ることができる。

【0055】

なお、波長変換部を、入射されたレーザビームを1/2の波長のレーザビームに変換するSHG（第2高調波発生）素子、及び入射されたレーザビームを1/4の波長のレーザビームに変換するFHG（第4高調波発生）素子から構成することにより、FHG（第4高調波発生）ファイバレーザとすることができる。

【0056】

例えば、図11に示すように、波長1560nmのレーザビーム133Aを出射するパルス分布帰還形半導体レーザ（パルスDFBレーザ）134A、発散光である上記レーザビーム133Aを平行光化するコリメートレンズ136A、平行光となったレーザビーム133Aを集光する集光レンズ138A、Er³⁺及びYb³⁺が共ドープされたコアを持つファイバ140A、ファイバ140Aから出射されたレーザビーム133Aを集光する集光レンズ154A、入射されたレーザビーム133Aを1/2の波長（780nm）のレーザビームに変換するSHG（第2高調波発生）素子158A、及び入射されたレーザビーム133Aを1/4の波長（390nm）のレーザビームに変換するFHG（第4高調波発生）素子160AからFHGファイバレーザを構成する。

【0057】

また、図10に、上記（3）の窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザの一例を示す。このファイバレーザは、SHG（第2高調波発生）ファイバレーザであり、波長450nmのレーザビーム173を出射するGaN系半導体レーザ174、発散光である上記レーザビーム173を平行光化するコリメート

レンズ 176、平行光となったレーザービーム 173 を集光する集光レンズ 178、 Pr^{3+} がドープされたコアを持つファイバ 180、ファイバ 180 から出射された波長 720 nm のレーザービーム 182 を集光する集光レンズ 194、及び集光されたレーザービーム 182 を入射させて 1/2 の波長 (360 nm) のレーザービーム 177 に変換する SHG (第 2 高調波発生) 素子 196 を備えている。SHG 素子 196 は、MgO がドープされた LiNbO_3 に周期ドメイン反転構造が設けられて構成されたバルク型波長変換結晶である。ファイバ 180 の端面 180a および 180b には、以上述べた各波長の光に対して AR (無反射) となる特性のコートが施されている。

【0058】

このファイバレーザでは、GaN 系半導体レーザ 174 から出射された波長 450 nm のレーザービーム 173 は、集光レンズ 178 により集光されて、ファイバ 180 に入射する。入射したレーザービーム 173 により波長 720 nm の蛍光が発生し、ファイバ 180 の両端面 180a、180b 間で共振されて、波長 720 nm のレーザービーム 182 が出射端面 180b から出射される。出射された波長 720 nm のレーザービーム 182 は、集光レンズ 194 で集光され、SHG 素子 196 に入射される。入射されたレーザービーム 182 は、SHG 素子 196 において、第 2 高調波である 360 nm のレーザービーム 177 に変換されて出射される。

【0059】

(第 2 の実施の形態)

本発明の第 2 の実施の形態に係る光造形装置は、図 12 に示すように、複数の露光ユニット及び複数の光源を備えた以外は、第 1 の実施の形態に係る光造形装置と同じ構成であるため、同一部分には同じ符号を付して説明を省略する。

【0060】

この光造形装置では、容器 10 に収容された光硬化性樹脂 12 の表面上方には、4 つの露光ユニット 18₁、18₂、18₃、及び 18₄ が配置されている。露光ユニット 18₁ ~ 18₄ の各々は、XY 位置決め機構 20 により、樹脂表面に対して水平方向 (XY 方向) に相互に独立に移動させることができる。

【 0 0 6 1 】

XY位置決め機構20は、露光ユニット18₁～18₄の各々を固定する固定台20a₁～20a₄、固定台20a₁、20a₂をX方向に移動可能に支持する支持体20b₁、固定台20a₃、20a₄をX方向に移動可能に支持する支持体20b₂、及び支持体20b₁及び支持体20b₂を固定台20a₁～20a₄と共にY方向に移動可能に支持する支持体20cから構成されている。

【 0 0 6 2 】

露光ユニット18₁～18₄の各々は、対応する紫外光源22₁～22₄から対応する光ファイバ24₁～24₄を介して入射された光ビーム14₁～14₄を各々平行光化すると共に、その波形を整形して光軸に垂直な面内での強度分布を矩形状に変換する整形光学系としてのホモジナイザ26₁～26₄、ホモジナイザ26₁～26₄の各々から入射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調するデジタル・マイクロミラー・デバイス(DMD)28₁～28₄、DMD28₁～28₄の各々から入射された光ビームを集光する集光レンズ30₁～30₄、及び集光レンズ30₁～30₄の各々を透過した光ビームを光硬化性樹脂12の表面の方向に反射する固定配置された反射ミラー32₁～32₄を備えている。

【 0 0 6 3 】

なお、XY位置決め機構20、紫外光源22₁～22₄及びDMD28₁～28₄は、これらを制御するコントローラ(図示せず)に接続されている。

【 0 0 6 4 】

次に、以上説明した光造形装置の動作について説明する。コントローラ(図示せず)によりXY位置決め機構20が駆動され、露光ユニット18₁～18₄の各々がX方向及びY方向に移動されて、露光ユニット18₁～18₄各々のX方向及びY方向の第1の位置が決定される。露光ユニット18₁～18₄各々の第1の位置が決定されると、第1の実施の形態と同様にして、光硬化性樹脂12表面の所定面積の領域16₁～16₄内の各々が対応する光ビーム14₁～14₄で露光され、領域16₁～16₄内の光ビームで露光された部分が硬化する。

【 0 0 6 5 】

第1の位置での所定面積の領域16₁～16₄の露光が完了すると、XY位置決

め機構 20 により、露光ユニット 18₁～18₄の各々がX方向及びY方向に移動されて、露光ユニット 18₁～18₄各々のX方向及びY方向の第2の位置が決定され、上記と同様にして、第2の位置に対応する所定面積の領域 16₁～16₄が露光される。このように、露光ユニット 18₁～18₄の移動と露光とを繰り返すことにより、光硬化性樹脂 12 の表面全体を露光することができる。

【0066】

以上の通り、本実施の形態に係る光造形装置では、DMDを備えた露光ユニットを複数備えており、各々の露光ユニットについて所定面積の領域を同時に露光することができるので、第1の実施の形態と比べて更に高速での造形が可能となる。例えば、4つの露光ユニットを使用する場合には、1つの露光ユニットを使用する場合の4倍の速度で造形を行うことができる。

【0067】

また、複数の露光ユニットにより露光を行う場合には、露光領域を分散させて硬化させ、局部的な硬化収縮に起因する歪みの発生を抑制することができる外、1部の露光ユニットが故障しても他の露光ユニットを使用して光造形を続行することができ、使用安定性に優れている。

【0068】

なお、上記の第2の実施の形態では、露光ユニットを4つ設ける例について説明したが、露光ユニットの数は、光硬化性樹脂を収容する容器のサイズ、要求される造形速度、造形精度等に応じて適宜決定される。また、第1の実施の形態と同様に、紫外光源を、前記(1)～(5)のいずれかで構成してもよい。

【0069】

(第3の実施の形態)

本発明の第3の実施の形態に係る光造形装置は、図13に示すように、上方に開口した容器 10 を備えており、容器 10 内には光硬化性樹脂 12 が収容されている。容器 10 に収容された光硬化性樹脂 12 の表面上方には、露光ヘッド 42 が固定手段(図示せず)により固定されて配置されている。露光ヘッド 42 には、樹脂表面の複数画素を含む所定面積の領域 16 を光ビーム 14 で走査して露光する多数(図13では、100個)の露光ユニット 18A がアレイ状(10列×

10行)に配列されている。

【0070】

露光ユニット18Aは、図14(A)及び(B)に示すように、紫外光源としてのGa₂N系半導体レーザ44、Ga₂N系半導体レーザ44から出射された光ビームを集光する例えば屈折率分布型レンズで構成された集光レンズ46、及び集光レンズ46により集光された光ビームを2次元方向に反射すると共に光硬化性樹脂12の表面に結像させる2次元マイクロスキャナ48を備えている。

【0071】

Ga₂N系半導体レーザ44及び集光レンズ46は、例えば銅またはシリコンからなるマウント50、52に各々保持された状態で、2次元マイクロスキャナ48と共に、共通の基板54に取り付けられている。各構成要素を固定配置した基板54は、温度調節手段を構成するペルチェ素子56上に固定されて、光出射窓58を有するパッケージ60内に気密封止されている。パッケージ60内にはサーミスタ(図示せず)が取り付けられており、サーミスタが出力する温度検出信号に基づいて温度制御回路(図示せず)によりペルチェ素子56の駆動が制御されて、パッケージ60内の要素が全て共通の所定温度に制御される。なお、図15(A)及び(B)に示すように、ペルチェ素子56はパッケージ60の外側に設けられていてもよい。

【0072】

2次元マイクロスキャナ48は、基板54に固定された外枠62、外枠62に回転軸64の周りに回転可能に保持された内枠66、及び内枠66に回転軸68の周りに回転可能に保持された反射ミラー70から構成されている。この反射ミラー70から反射された光ビームが、樹脂表面の領域16をX方向及びY方向に走査するように、露光ユニット18Aが露光ヘッド42に配置されている。

【0073】

なお、各々の露光ユニット18AのGa₂N系半導体レーザ44及び2次元マイクロスキャナ48は、これらを独立に制御するコントローラ(図示せず)に接続されている。

【0074】

次に、以上説明した光造形装置の動作について説明する。コントローラ（図示せず）により各々の露光ユニット 1 8 A の G a N 系半導体レーザ 4 4 が独立に駆動されて、G a N 系半導体レーザ 4 4 から光ビームが出射され、露光ユニット 1 8 A の各々の配置位置に応じた所定面積の領域 1 6 の画像データが 2 次元マイクロスキャナ 4 8 のコントローラ（図示せず）に送信される。2 次元マイクロスキャナ 4 8 では、画像データに応じて、内枠 6 6 に保持された反射ミラー 7 0 が回転軸 6 8 の周りに回転して、X 方向に光ビーム 1 4 が走査されると共に、外枠 6 2 に保持された内枠 6 6 が反射ミラー 7 0 と共に回転軸 6 4 の周りに回転して、X 方向と直交する Y 方向に光ビーム 1 4 が走査されて、各々の露光ユニット 1 8 A に対応する所定面積の領域 1 6 が露光され、結果として、光硬化性樹脂 1 2 の表面全体が露光される。

【 0 0 7 5 】

例えば、光硬化性樹脂 1 2 の表面上での光ビームのスポット径を $50\ \mu\text{m}$ とすると、100 万 (1000×1000) 画素の 2 次元マイクロスキャナ 4 8 を備えた露光ユニット 1 8 A を用いた場合には、面積 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ の領域 1 6 を同時に露光することができる。この場合、光硬化性樹脂 1 2 の表面の露光総面積が $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ であるとする、100 個の露光ユニット 1 8 A を用いて同時に露光することにより、表面全体を短時間で露光することができる。即ち、表面の全体を 100 個の露光ユニット 1 8 A を用いて同時に露光する場合には、1 つの露光ユニット当りの露光領域は、表面全体を 1 個の露光ユニット 1 8 A を用いて露光する場合の 100 分の 1 となり、露光時間も $1/100$ に短縮される。

【 0 0 7 6 】

以上の通り、本実施の形態に係る光造形装置では、露光ユニットは、画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで走査する 2 次元マイクロスキャナを用いることにより、従来の 2 枚組の可動ミラーを用いる場合に比べて小型化されている。このため、露光ヘッドに多数の露光ユニットを配列することが可能であり、多数の露光ユニットで所定面積の領域を並列に走査露光することができ、高速且つ高精細での造形が可能となる。また、多数の露光ユニットで全体を露光す

るので、1つの露光ユニットで走査露光する領域の面積を制限して、ピン・クッション・エラーを、例えば100個の露光ユニットを用いた場合は約1/10に低減することができる。

【0077】

また、Ga N系半導体レーザで構成された紫外光源は、高出力が得られると同時に低コストであり、光造形装置全体の製造コストも低減することができる。特に、エキシマレーザ等のガスレーザを使用している従来の光造形装置と比較すると、安価で、メンテナンスが容易となり、装置全体が小型化する、という利点がある。

【0078】

なお、上記の第3の実施の形態では、露光ユニットを100個設ける例について説明したが、露光ユニットの数は、光硬化性樹脂を収容する容器のサイズ、要求される造形速度、造形精度等に応じて適宜決定される。露光ユニットの数は、25～100個の範囲が好ましい。

【0079】

また、上記第3の実施の形態では、紫外光源をGa N系半導体レーザで構成する例について説明したが、第1の実施の形態と同様に、紫外光源を、前記(1)～(5)のいずれかで構成してもよい。

【0080】

図16(A)及び(B)に、前記(2)の半導体レーザ励起固体レーザを用いた場合の露光ユニットの構成例を示す。第3の実施の形態の露光ユニットと同じ構成部分に付いては同じ符号を付して説明を省略する。この露光ユニットでは、集光レンズ46及び2次元マイクロスキャナ48の間に、 Pr^{3+} がドープされた固体レーザ媒質である LiYF_4 結晶(以下、 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 結晶と称する)47が配置されており、例えば銅からなるマウント49に保持された状態で、共通の基板54に取り付けられている。また、 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 結晶47及び2次元マイクロスキャナ48の間には、波長変換素子72、エタロン74、及び共振器ミラー76がマウント(図示せず)に保持された状態でこの順に配列されている。また、ペルチェ素子56はパッケージ60の外側に設けられている。なお、光波長変

換素子 7 2、半導体レーザー 4 4、及び共振器ミラー 7 6 の構成は、図 8 に示す半導体レーザー励起固体レーザーと同様である。

【 0 0 8 1 】

この半導体レーザー励起固体レーザーでは、半導体レーザー 4 4 から入射されたレーザービームにより $\text{Pr} : \text{YLF}$ 結晶 4 7 の Pr^{3+} が励起され、 $\text{Pr} : \text{YLF}$ 結晶 4 7 から所定波長のレーザービームが出射される。出射されたレーザービームは $\text{Pr} : \text{YLF}$ 結晶 4 7 の端面と共振器ミラー 7 6 のミラー面とで構成される共振器により共振されると共に、光波長変換素子 7 2 により波長変換されて、光ビーム 1 4 が出射される。

【 0 0 8 2 】

図 1 7 (A) 及び (B) に、図 1 0 に示す、窒化ガリウム系半導体レーザーでファイバを励起して得られたレーザービームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザーを用いた場合の露光ユニットの構成例を示す。第 3 の実施の形態の露光ユニットと同じ構成部分に付いては同じ符号を付して説明を省略する。この露光ユニットは、ファイバレーザーと、ファイバレーザーから出射された光ビーム 1 7 7 を 2 次元方向に反射すると共に光硬化性樹脂 1 2 の表面に集光レンズ 1 9 4 を通過した光ビームを結像させる 2 次元マイクロスキャナ 4 8 と、を備えている。

【 0 0 8 3 】

ファイバレーザーは、図 1 0 に示すように、波長 4 5 0 nm のレーザービーム 1 7 3 を出射する GaN 系半導体レーザー 1 7 4、発散光である上記レーザービーム 1 7 3 を平行光化するコリメートレンズ 1 7 6、平行光となったレーザービーム 1 7 3 を集光する集光レンズ 1 7 8、 Pr^{3+} がドープされたコアを持つファイバ 1 8 0、ファイバ 1 8 0 から出射された波長 7 2 0 nm のレーザービーム 1 8 2 を集光する集光レンズ 1 9 4、及び集光されたレーザービーム 1 8 2 を入射させて 1 / 2 の波長 (3 6 0 nm) のレーザービーム 1 7 7 に変換する SHG (第 2 高調波発生) 素子 1 9 6 を備えている。

【 0 0 8 4 】

パッケージ 6 0 の内側には、集光レンズ 1 9 4 及び SHG 素子 1 9 6 が配置さ

れており、集光レンズ194及びSHG素子196は、例えば銅からなるマウント57、59に各々保持された状態で、2次元マイクロキャナ48と共に、共通の基板54に取り付けられている。各構成要素を固定配置した基板54は、光出射窓58を有するパッケージ60内に気密封止されている。ファイバ180の出射側の端部は、パッケージ60の側壁を貫通して内部に導入されて、集光レンズ53と光結合されている。一方、図17においては図示は省略するが、図10に示すその他の構成要素は、パッケージ60の外側に設けられている。

【0085】

また、図17(A)及び(B)に示す露光ユニットにおいて、図10に示すファイバレーザに代えて、図9に示す、赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザを用いることができる。

【0086】

ファイバレーザは、図9に示すように、波長1064nmのレーザビーム133を出射するQスイッチYVO₄固体レーザ134、発散光である上記レーザビーム133を平行光化するコリメートレンズ136、平行光となったレーザビーム133を集光する集光レンズ138、コリメートレンズ136と集光レンズ138との間に配置されたハーフミラー142、Nd³⁺がドープされたコアを持つファイバ140、ファイバ140から出射されたレーザビーム133を集光する集光レンズ154、及び集光されたレーザビーム133を入射させて波長変換波を得る波長変換部156を備えている。波長変換部156は、入射されたレーザビーム133を1/2の波長(532nm)のレーザビームに変換するSHG(第2高調波発生)素子158、及び入射されたレーザビーム133を1/3の波長(355nm)のレーザビームに変換するTHG(第3高調波発生)素子160から構成されている。

【0087】

この場合、集光レンズ154、SHG素子158及びTHG素子160は、各々マウントに保持された状態でパッケージの内側に配置され、2次元マイクロキャナと共に共通の基板に取り付けられて、パッケージ内に気密封止される。フ

アイバ 1 4 0 の出射側の端部は、パッケージの側壁を貫通して内部に導入されて、集光レンズ 1 5 4 と光結合される。

【 0 0 8 8 】

上記の第 1 及び第 2 の実施の形態では、X Y 位置決め機構により露光ユニットを X 方向、Y 方向に移動させる例について説明したが、光硬化性樹脂を収納した容器を露光ユニットに対して移動させてもよい。

【 0 0 8 9 】

また、上記の第 1 ～第 3 の実施の形態において、露光ユニットから照射される光ビームのスポット径及び出力光量を適宜変更することができる。例えば、低出力光量で露光することにより高精細な造形を行うこともできるし、高出力光量で露光することにより高速造形を行うこともできる。

【 0 0 9 0 】

上記の第 1 及び第 2 の実施の形態では、光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子としてデジタル・マイクロミラー・デバイス (DMD) を用いる例について説明したが、空間変調素子として回折格子光バルブ (G L V : Grating Light Valve) を用いてもよい。G L V は線方向での変調に適しており、光源と G L V を主走査方向に配列した G L V アレイとを用いて露光手段を構成してもよい。この場合、G L V アレイが主走査方向と交差する副走査方向に移動するように、露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる、直動位置決め機構等の移動手段または可動ミラーのような走査手段を設けることが好ましい。

【 0 0 9 1 】

【発明の効果】

本発明の光造形装置は、高速且つ高精細な造形が可能である、という効果を奏する。また、本発明の露光ユニットは、従来に比べて小型化されており、露光ユニットに多数配列することができる、という効果を奏する。更に、光源を所定のレーザ光源とした場合には、安価な光造形装置及び露光ユニットが提供される、という効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニットの構成を示す部分拡大図である。

【図 3】本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の紫外光源の構成を示す平面図である。

【図 4】図 3 に示す紫外光源の狭域帯バンドパスフィルタの透過特性を示すグラフである。

【図 5】DMD の構成を示す部分拡大図である。

【図 6】DMD の動作を説明するための説明図である。

【図 7】本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の紫外光源として使用可能なブロードエリアの発光領域を有する G a N 系半導体レーザの積層構造の一例を示す概略断面図である。

【図 8】本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の紫外光源として使用可能な半導体レーザ励起固体レーザの構成を示す概略断面図である。

【図 9】本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の紫外光源として使用可能な T H G（第 3 高調波発生）ファイバレーザの構成を示す概略断面図である。

【図 1 0】本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の紫外光源として使用可能な S H G（第 2 高調波発生）ファイバレーザの構成を示す概略断面図である。

【図 1 1】本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の紫外光源として使用可能な F H G（第 4 高調波発生）ファイバレーザの構成を示す概略断面図である。

【図 1 2】本発明の第 2 の実施の形態に係る光造形装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 1 3】本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 1 4】（A）は本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニットの構成を示す平面図であり、（B）は（A）の光軸に沿った断面図である。

【図 1 5】（A）は本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニットの変形例を示す平面図であり、（B）は（A）の光軸に沿った断面図である。

【図 1 6】（A）は本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニットの変形例を示す平面図であり、（B）は（A）の光軸に沿った断面図である。

【図 1 7】（A）は本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニットの変形例を示す平面図であり、（B）は（A）の光軸に沿った断面図である。

【図 1 8】従来のレーザ走査方式の光造形装置の構成を示す斜視図である。

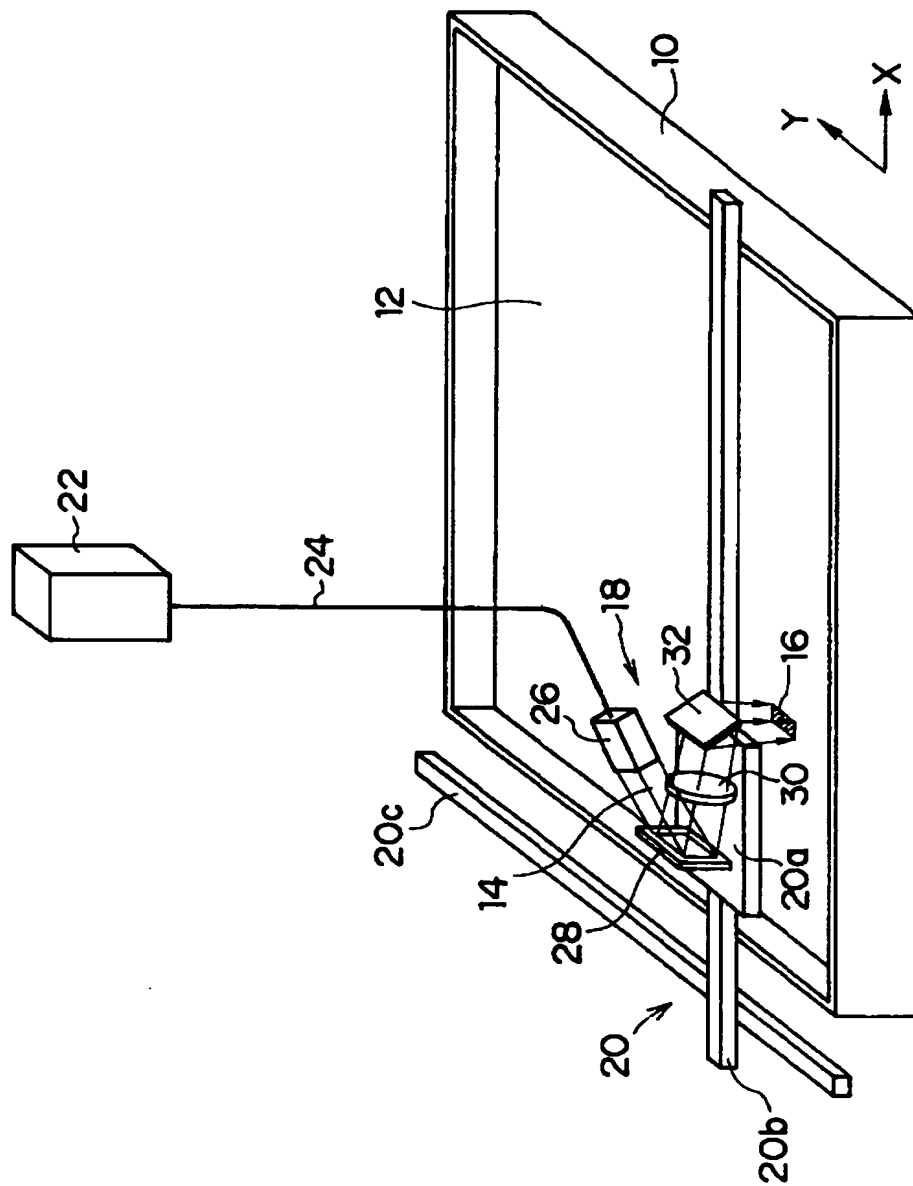
【図 1 9】従来の可動ミラー方式の光造形装置の構成を示す斜視図である。

【符号の説明】

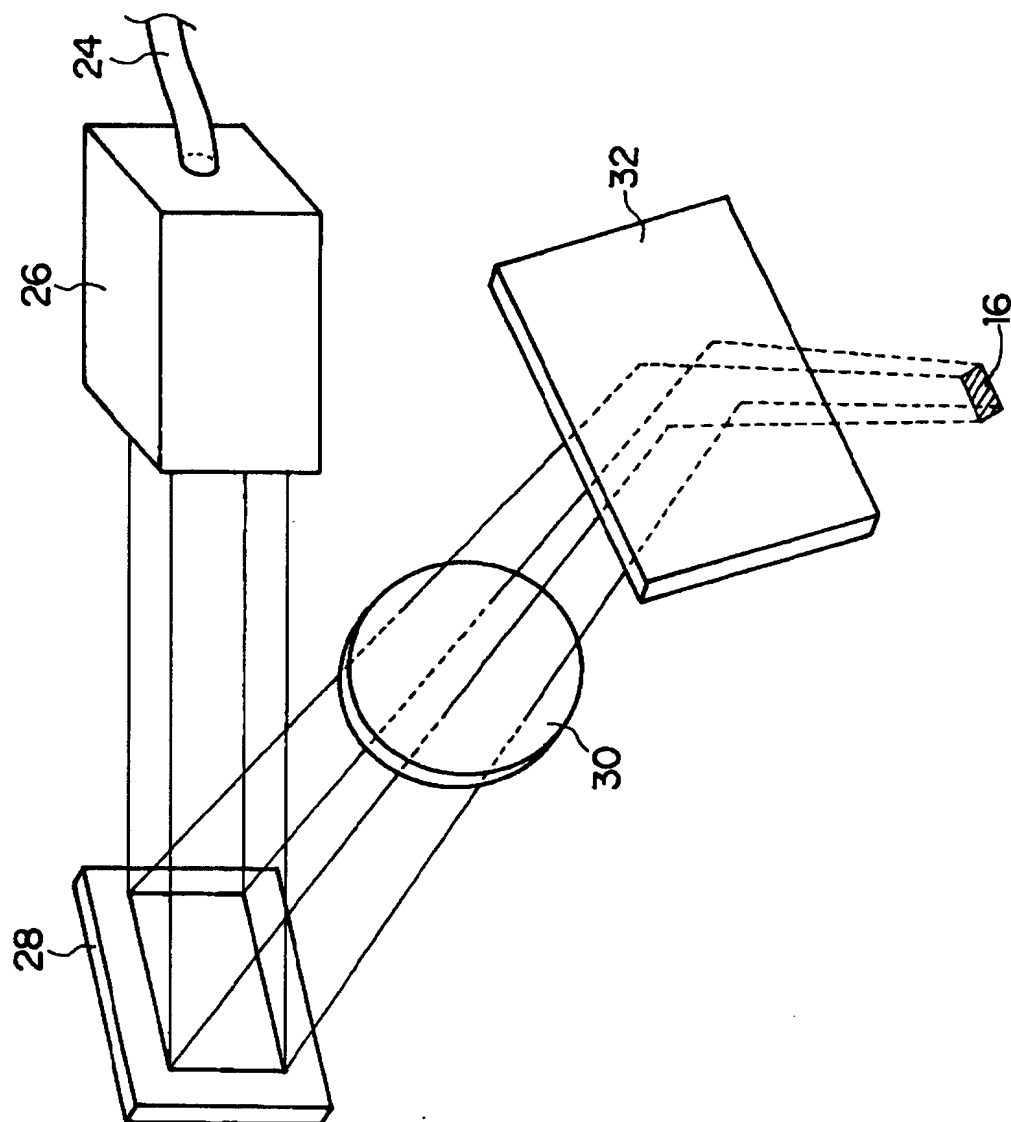
- 1 0 容器
- 1 2 光硬化性樹脂
- 1 4 光ビーム
- 1 6 領域
- 1 8、1 8 A 露光ユニット
- 2 0 X Y 位置決め機構
- 2 2 紫外光源
- 2 4 光ファイバ
- 2 6 ホモジナイザ
- 2 8 デジタル・マイクロミラー・デバイス（DMD）
- 3 0 集光レンズ
- 3 2 反射ミラー
- 4 2 露光ヘッド
- 4 4 G a N 系半導体レーザ
- 4 6 集光レンズ
- 4 8 2 次元マイクロスキャナ
- 5 6 ペルチェ素子
- 5 8 光出射窓
- 6 0 パッケージ

【書類名】 図面

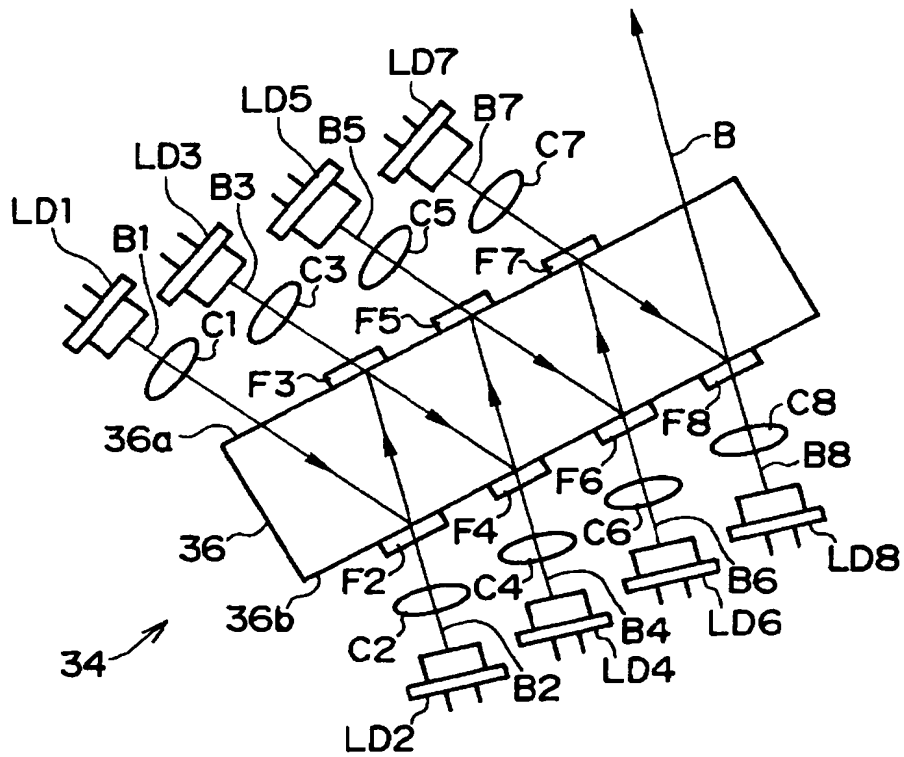
【図 1】



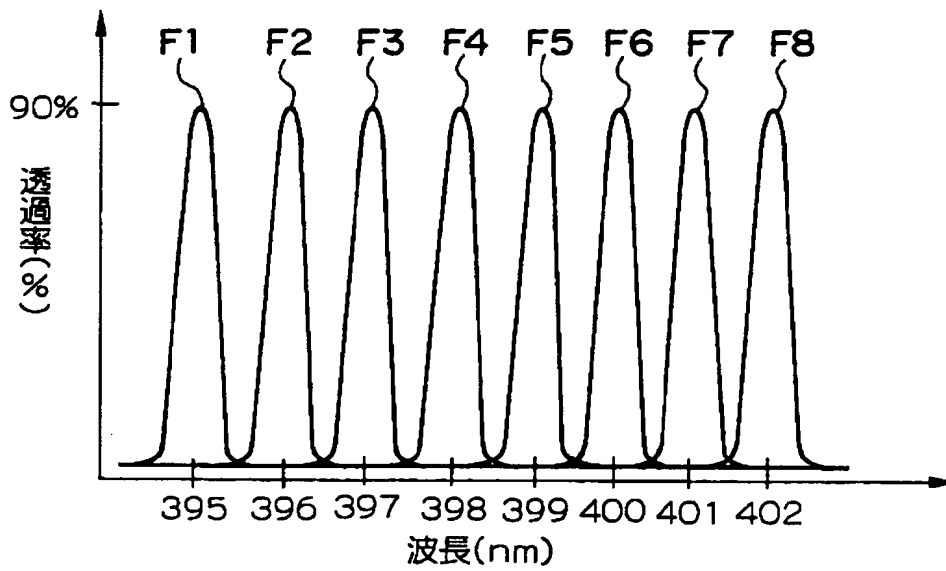
【図 2】



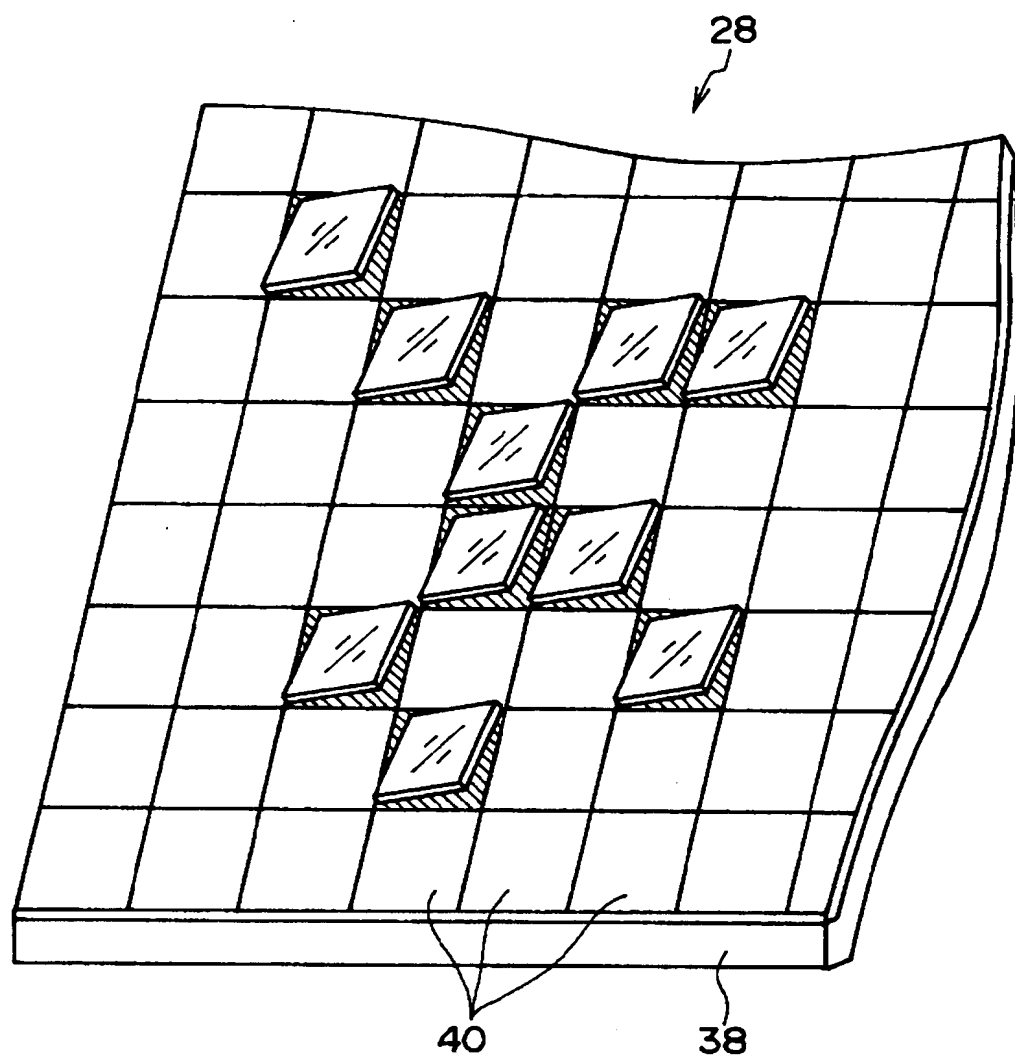
【図 3】



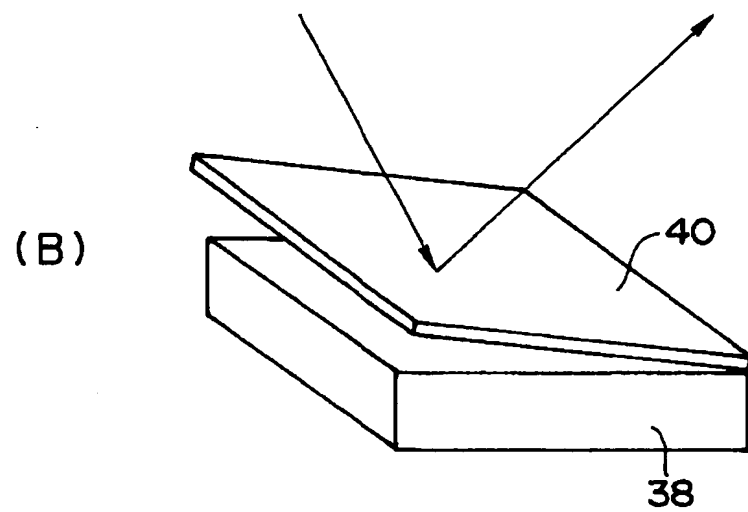
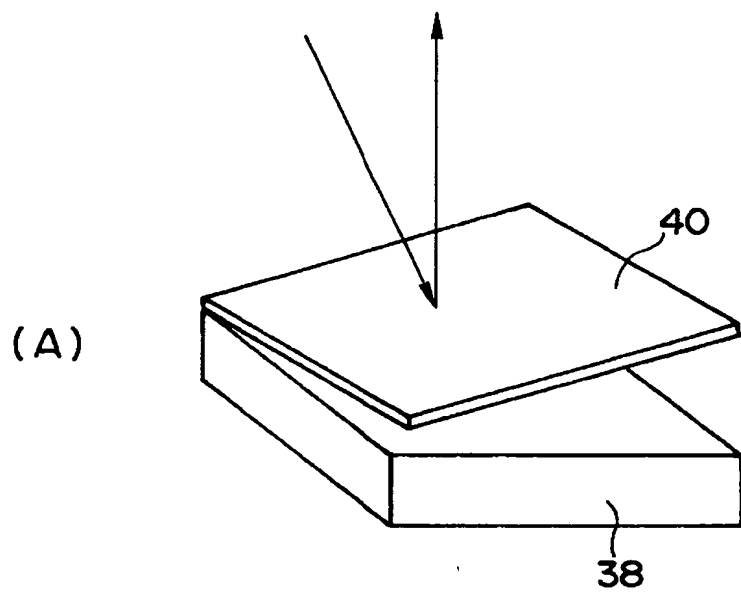
【図 4】



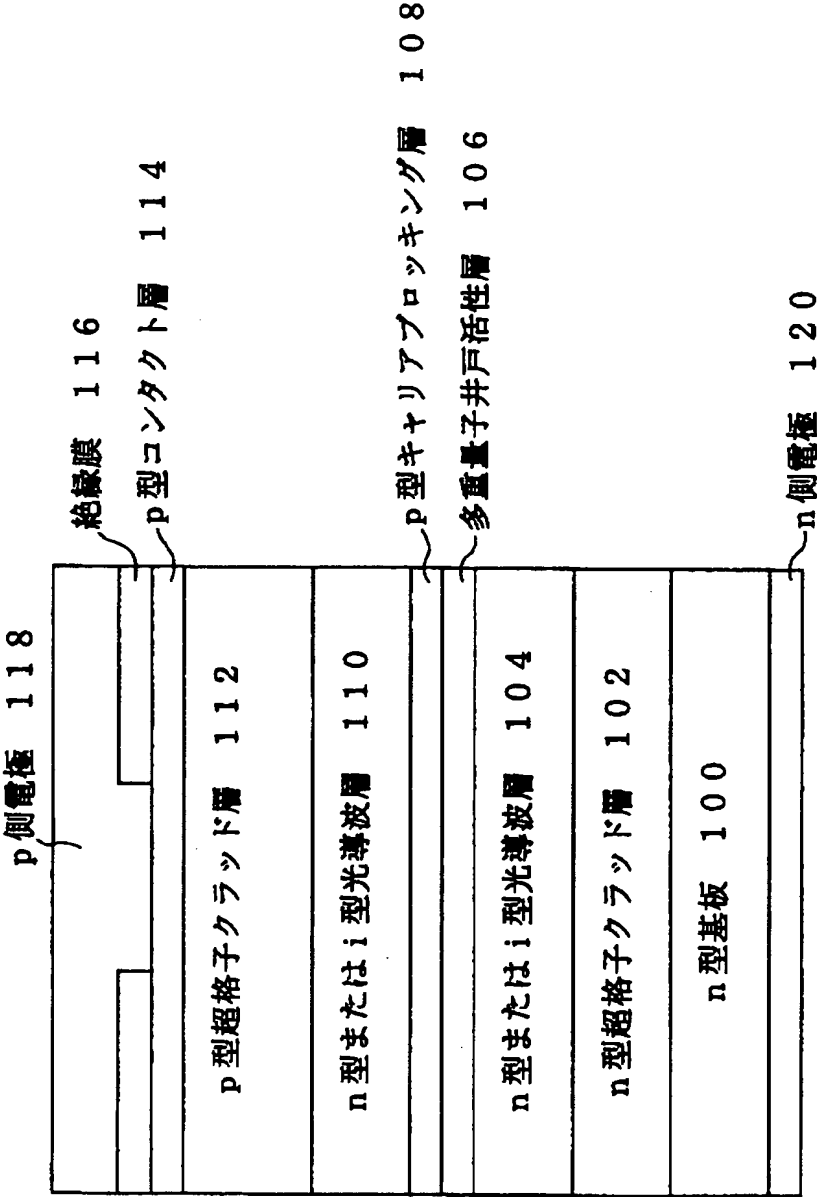
【図 5】



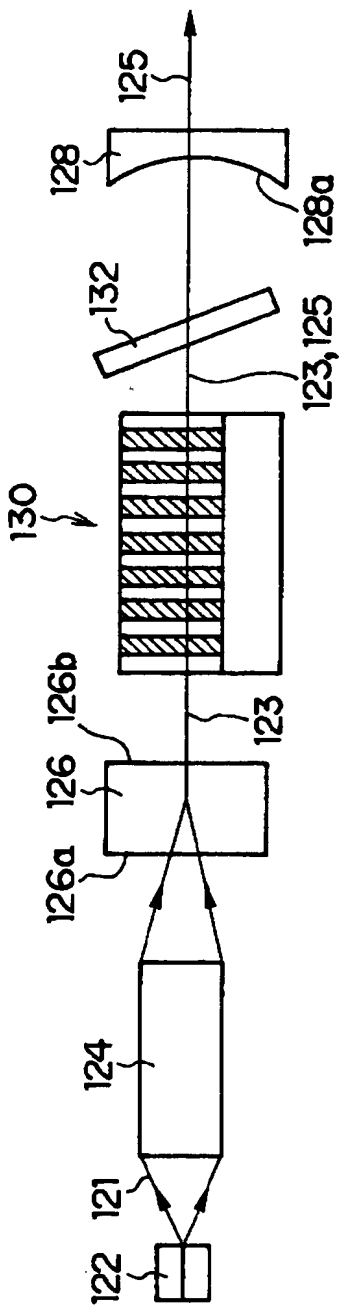
【図 6】



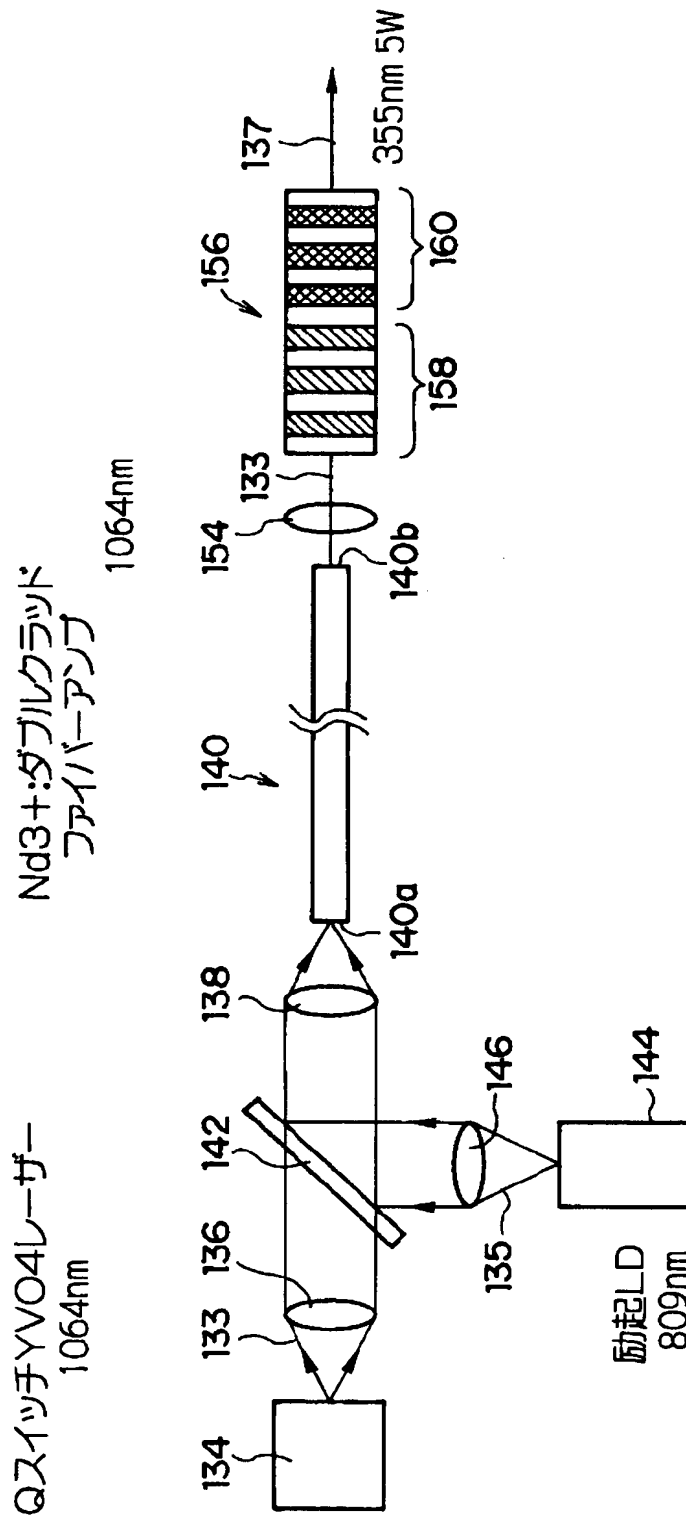
【図 7】



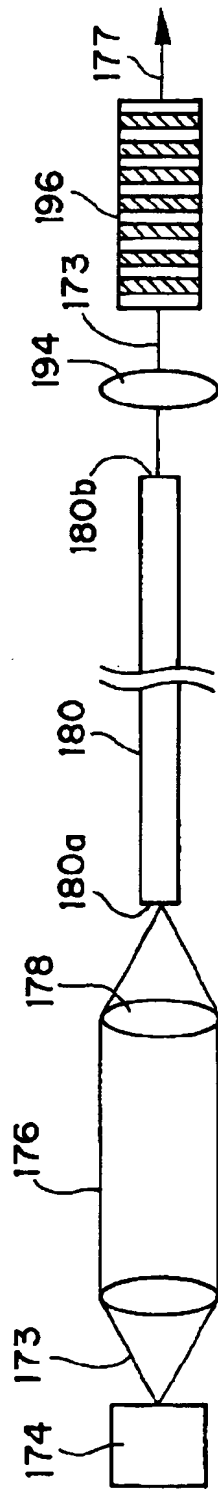
【図 8】



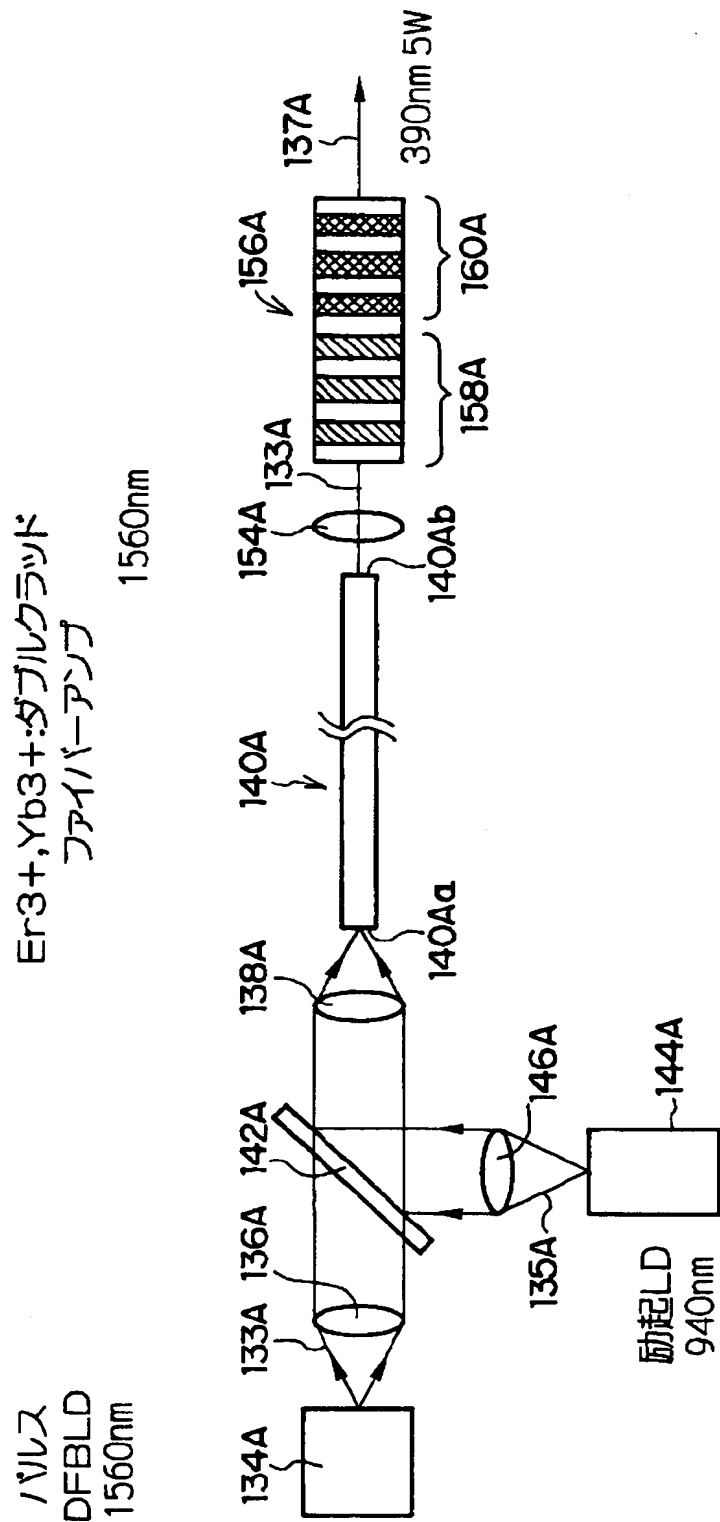
【図9】



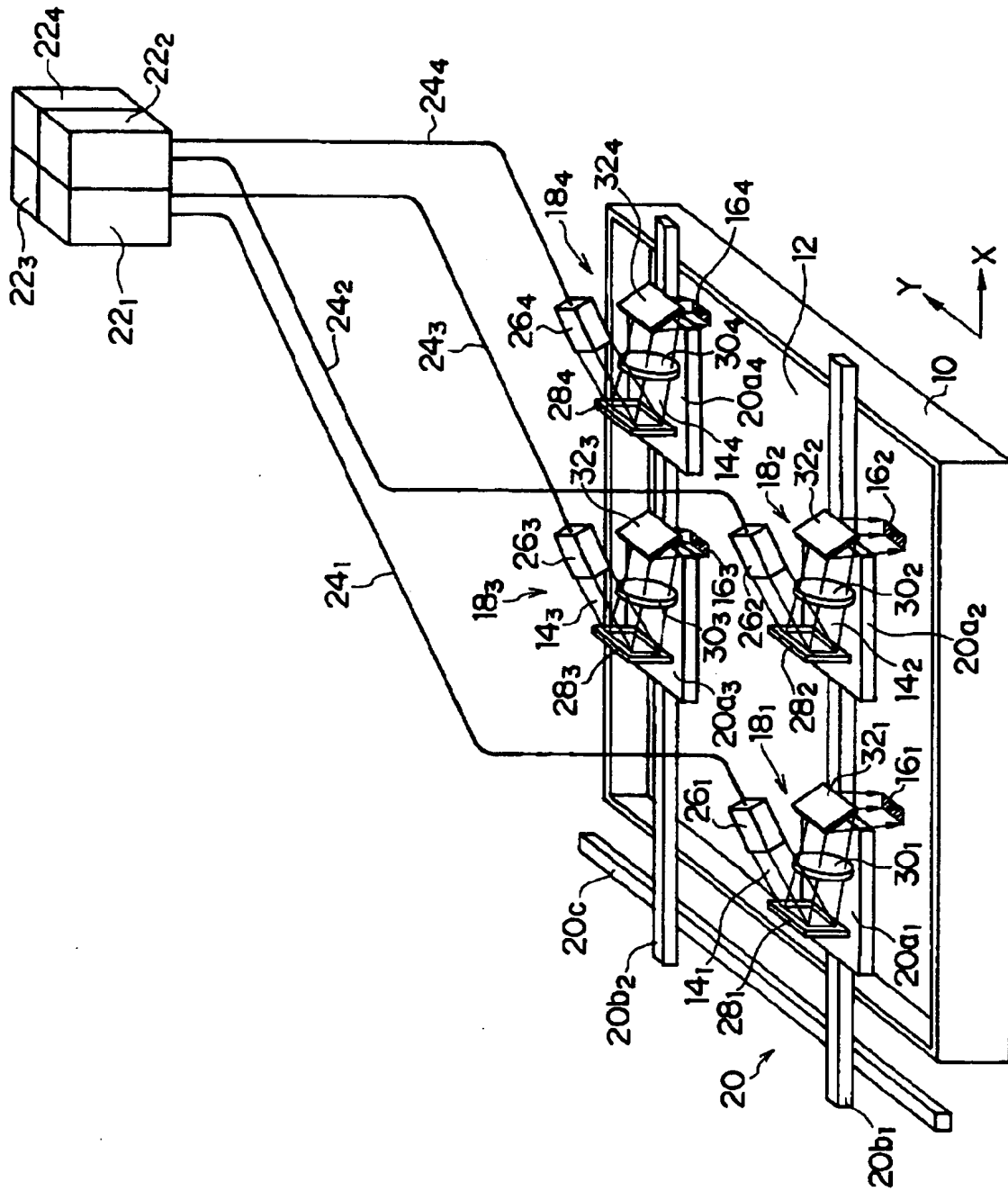
【図 1 0】



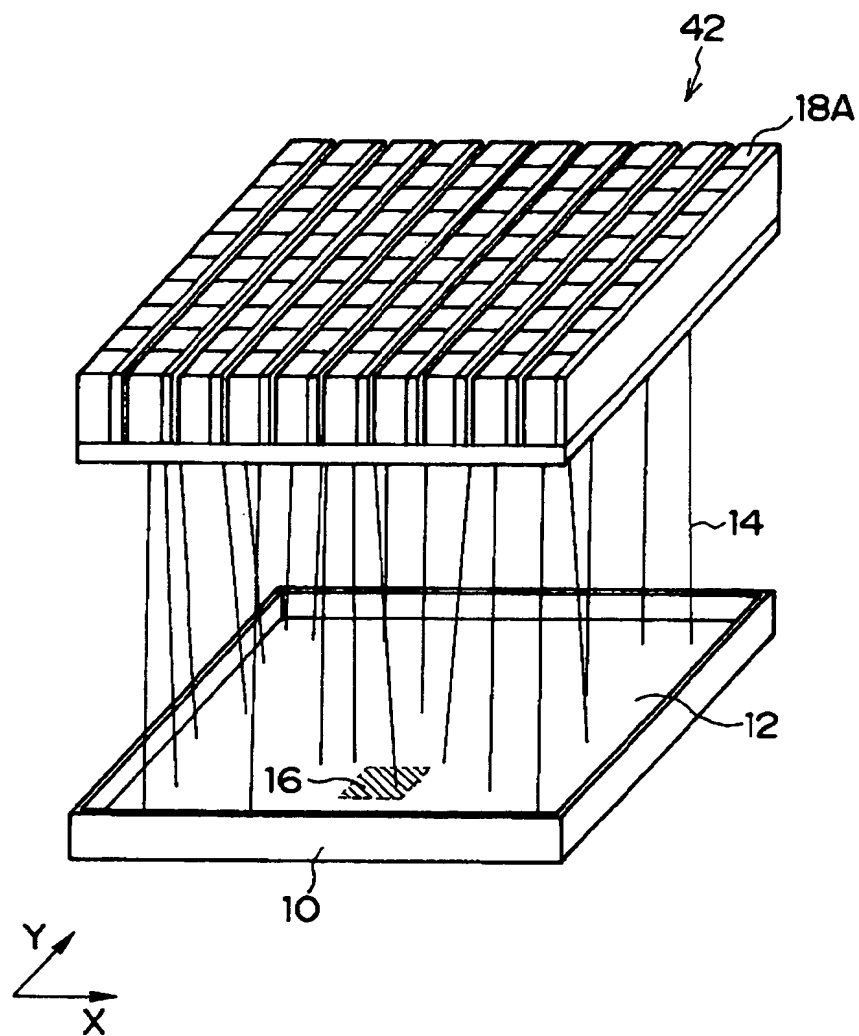
【図 1 1】



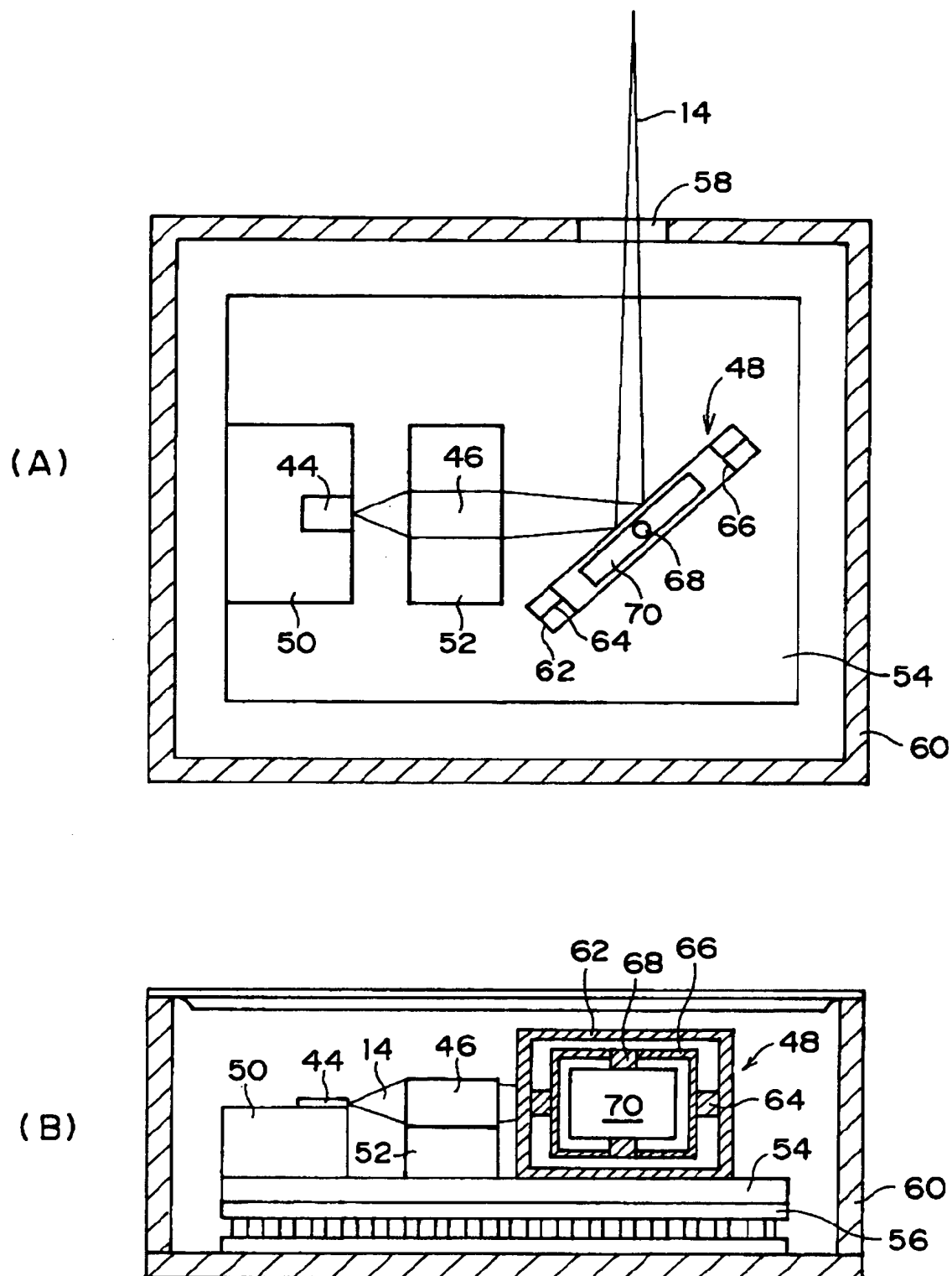
【図 1 2】



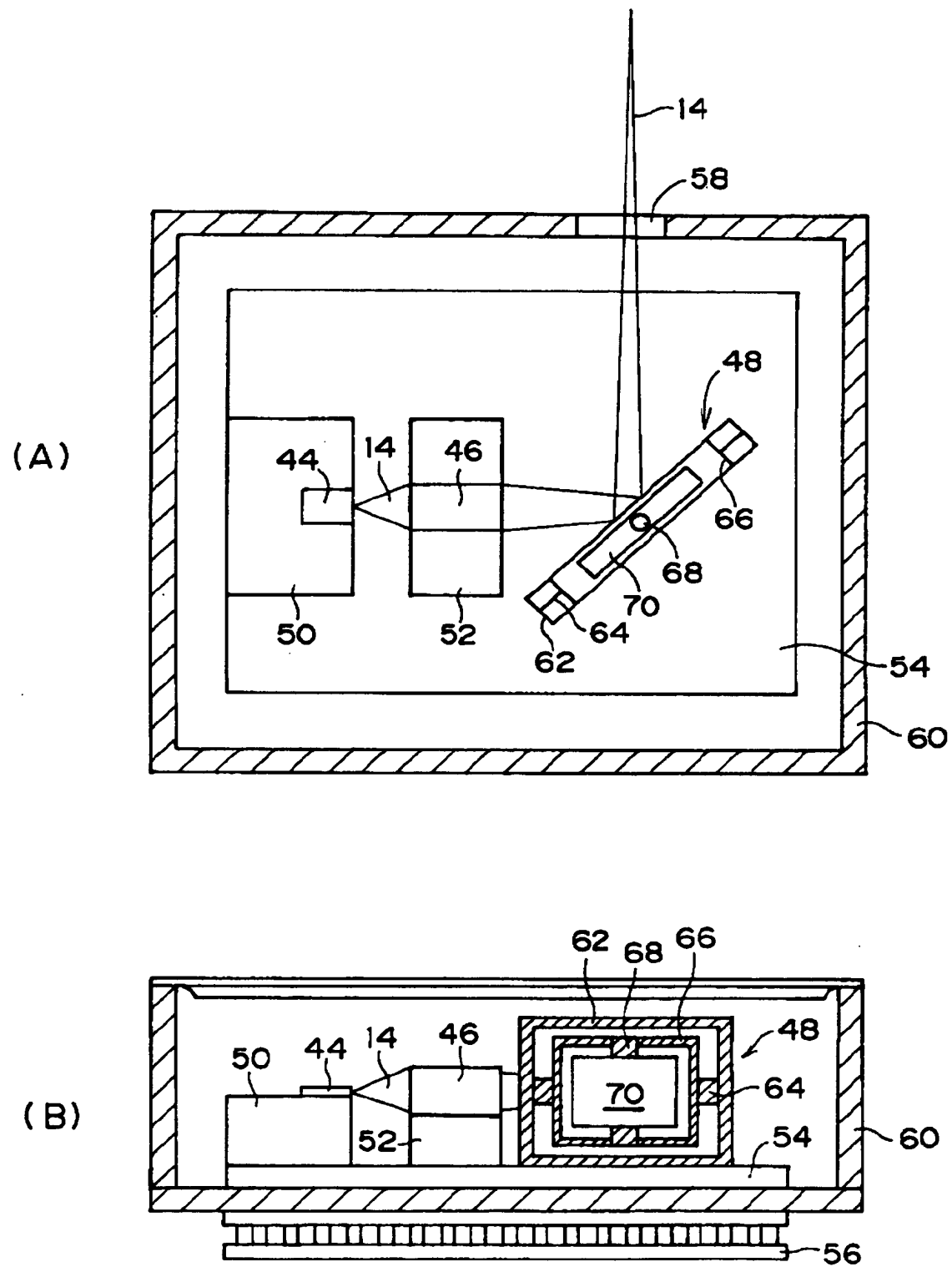
【図 1 3】



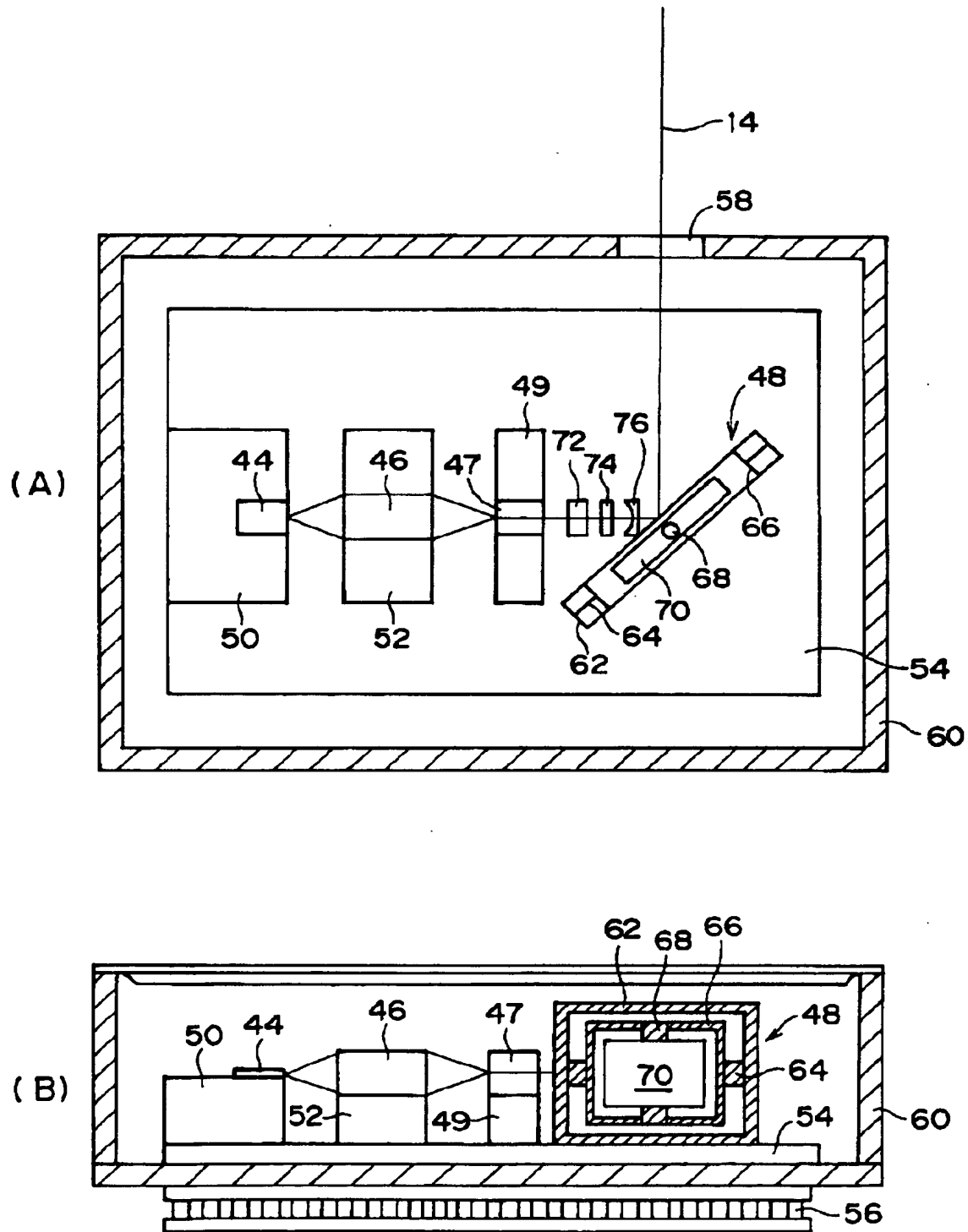
【図14】



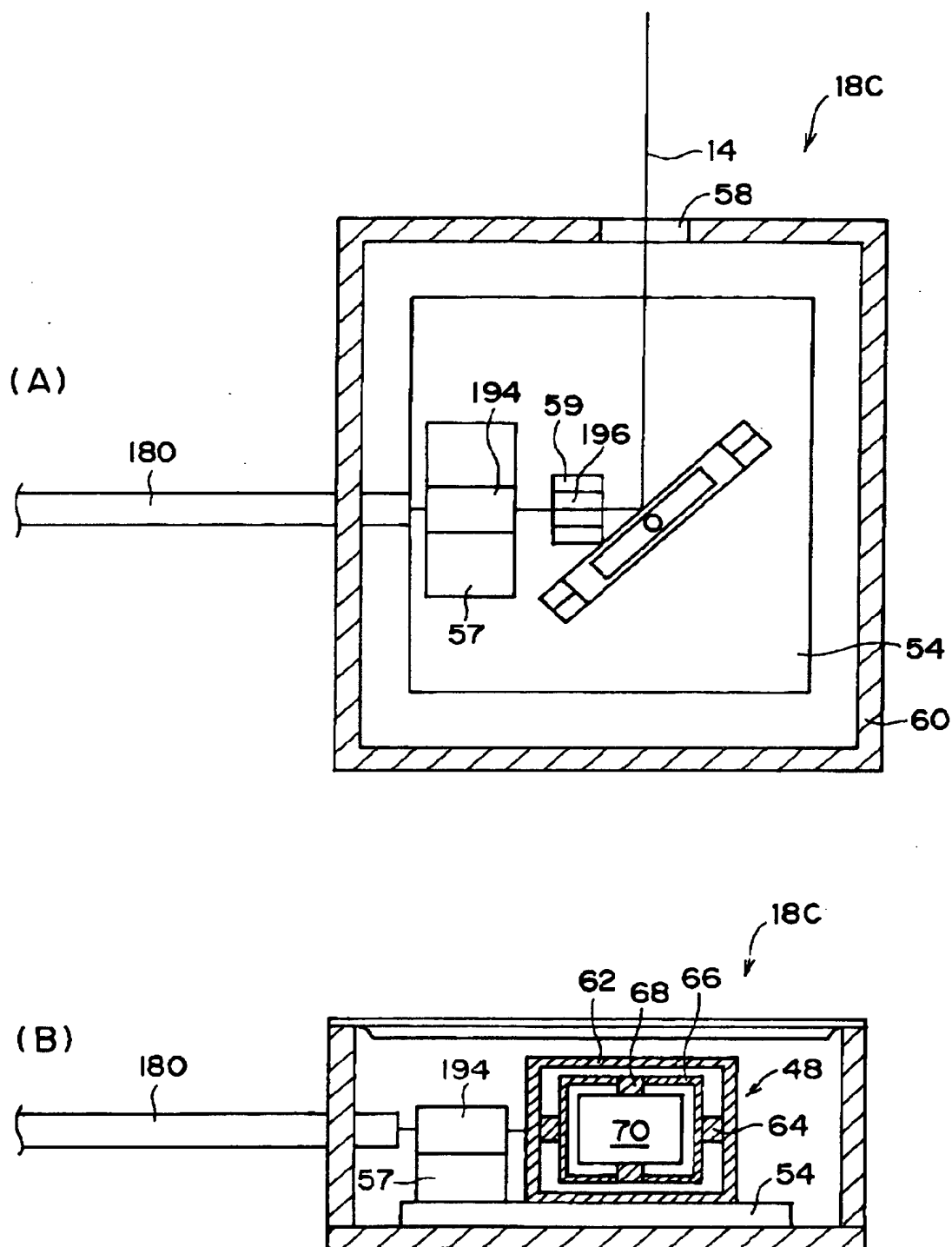
【図15】



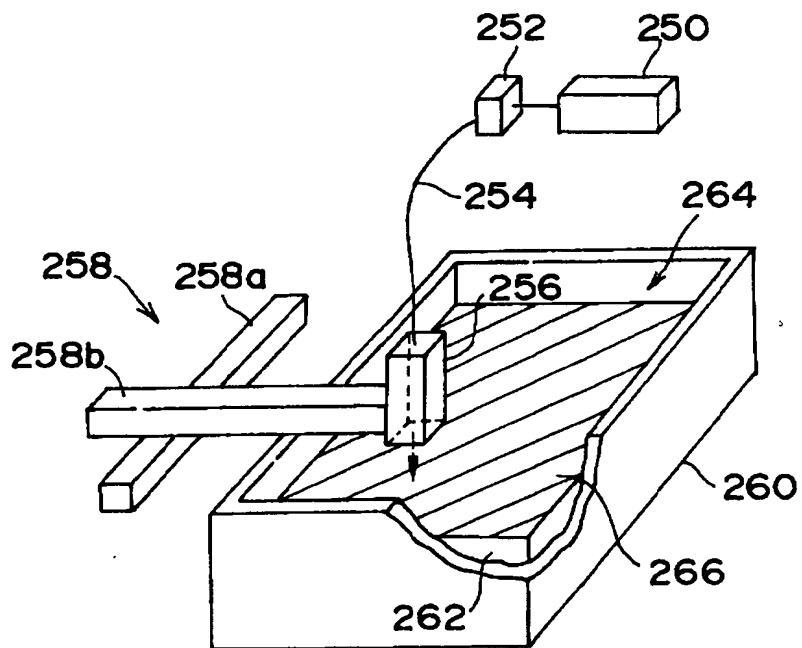
【図16】



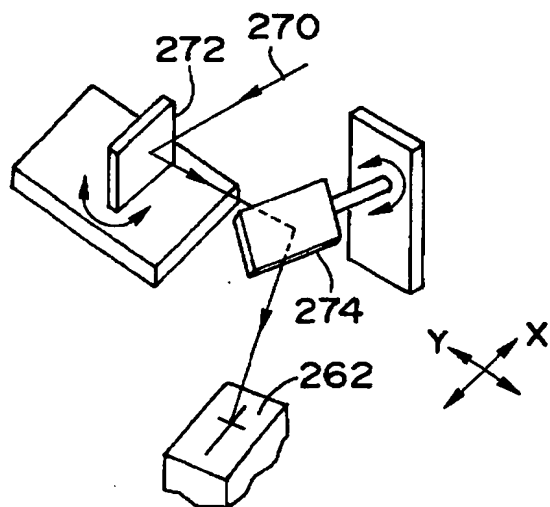
【図 1 7】



【図18】



【図19】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高速且つ高精細な造形を可能とする光造形装置を提供する。

【解決手段】 X Y 位置決め機構 2 0 により露光ユニット 1 8 の第 1 の位置が決定されると、第 1 の位置に応じた所定面積の領域 1 6 の画像データに応じて、DMD 2 8 のマイクロミラー 4 0 がオンオフ制御され、紫外光源 2 2 から光ビームが出射された光ビーム 1 4 が光ファイバ 2 4 及びホモジナイザ 2 6 を介して DMD 2 8 へ入射されて、画像データに応じて各画素毎に変調される。反射ミラー 3 2 の方向に反射された光ビーム 1 4 は、集光レンズ 3 0 により集光され、反射ミラー 3 2 により光硬化性樹脂 1 2 表面の方向に反射され、光硬化性樹脂 1 2 表面の所定面積の領域 1 6 内が光ビーム 1 4 で露光されて、露光された部分が硬化する。同様にして、露光ユニット 1 8 の移動と露光とを繰り返すことにより、光硬化性樹脂 1 2 の表面全体を露光する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005201]

1. 変更年月日 1990年 8月14日
[変更理由] 新規登録
住 所 神奈川県南足柄市中沼210番地
氏 名 富士写真フイルム株式会社